

TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI PENGGUNAAN *INSULATING TRANSFORMER*  
UNTUK MENGATASI KEGAGALAN KOORDINASI PROTEKSI  
DI PT. TERMINAL TELUK LAMONG**

Aprillia Intan Kusumawati  
NRP 2215105001

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI PENGGUNAAN *INSULATING TRANSFORMER* UNTUK  
MENGATASI KEGAGALAN KOORDINASI PROTEKSI  
DI PT. TERMINAL TELUK LAMONG**

**Aprillia Intan Kusumawati  
NRP 2215105001**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**





**FINAL PROJECT - TE 141599**

***STUDY OF USING INSULATING TRANSFORMER TO COPE  
COORDINATION PROTECTION FAILURE  
ON PT. TERMINAL TELUK LAMONG***

Aprillia Intan Kusumawati  
NRP 2215105001

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty Of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2017

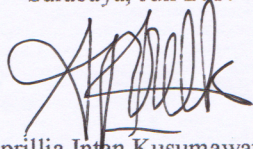
## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **Studi Penggunaan *Insulating Transformer untuk Mengatasi Kegagalan Koordinasi Proteksi di PT. Terminal Teluk Lamong*** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan - bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang di kutip maupun di rujuk telah di tulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



Aprillia Intan Kusumawati

Nrp. 2215105001



**STUDI PENGGUNAAN *INSULATING TRANSFORMER*  
UNTUK MENGATASI KEGAGALAN KOORDINASI PROTEKSI  
DI PT. TERMINAL TELUK LAMONNG**

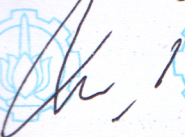
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



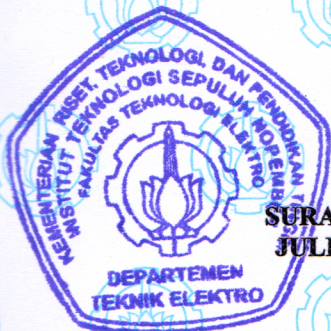
**Dosen Pembimbing II**



20-7-2017

**Dr. Ir. Margo Pujiانتارا, M.T.**  
**NIP.196603181990101001**

**Vita Lystianingrum B.P., S.T., M.Sc., Ph.D.**  
**NIP.198208292006042001**



**SURABAYA  
JULI, 2017**

# **STUDI PENGGUNAAN *INSULATING TRANSFORMER* UNTUK MENGATASI KEGAGALAN KOORDINASI PROTEKSI DI PT. TERMINAL TELUK LAMONG**

**Nama Mahasiswa** : Aprillia Intan Kusumawati  
**NRP** : 2215105001  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**NIP** : 196603181990101001  
**Dosen Pembimbing** : Vita Lystianingrum Budiharto  
Putri,ST.,M.Sc., Ph.D.  
**NIP** : 198208292006042001

## **ABSTRAK**

Sistem kelistrikan pada suatu perusahaan menjadi salah satu bagian yang sangat penting. Gangguan pada sistem kelistrikan dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan daya listrik. Pada PT. Terminal Teluk Lamong terjadi *trip* secara bersamaan pada rele yang ada karena *setting* waktu tunda antar rele baik rele fasa ataupun *ground* sangat kecil (kurang dari 0,2 detik). Hal ini dikarenakan *setting* rele pada PT. Terminal Teluk Lamong mengikuti *setting* dari PT. PLN (Persero) yang berada pada bagian *incoming plant* ini di mana nilainya tidak dapat di ubah oleh pihak PT. Terminal Teluk Lamong. Nilai impedansi beban pada PT. Terminal Teluk Lamong membuat rele *invers* pada PT. PLN (Persero) *trip* pada waktu 0,372 detik untuk rele *overcurrent* fasa. Selain itu karena *setting* rele *ground* pada PT. PLN (Persero) hanya sebesar 0,1 detik dengan kurva *invers* membuat rele PT. PLN (Persero) aktif terlebih dahulu ketika terjadi gangguan fasa ke tanah di sistem 20kV yang menyebabkan sistem kelistrikan langsung mati total. Penggunaan *insulating transformer* dengan hubungan belitan *delta-wye* diharapkan akan memberikan impedansi tambahan pada sistem sehingga membuat waktu tunda rele PLN semakin besar sekaligus memisahkan bagian *outgoing* PT. PLN (bagian primer trafo) dan *incoming* PT. Terminal Teluk Lamong (bagian sekunder trafo) sehingga gangguan fasa ke tanah juga dapat teratasi.

**Kata Kunci:** *Insulating Transformer*, Koordinasi Proteksi, Rele Arus Lebih.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ***STUDY OF USING INSULATING TRANSFORMER TO COPE COORDINATION PROTECTION FAILURE ON PT. TERMINAL TELUK LAMONG***

**Name** : Aprillia Intan Kusumawati  
**NRP** : 2215105001  
**Adviser 1** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**NIP** : 196603181990101001  
**Adviser 2** : Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.  
**NIP** : 198208292006042001

## ***ABSTRACT***

*Electrical systems is one of the most important part in a company. Disturbance of the electrical system may cause a failure of the continuity in electrical power services. At PT. Terminal Teluk Lamong occurs simultaneous trips on existing plant because time delay setting between relay, both phase or ground is very small (less than 0.2 seconds). This happen because setting relay on PT. Terminal Teluk Lamong follows the setting of PT. PLN (Persero) that located in this incoming plant and the value of relay PT. PLN (Persero) can not be changed by PT. Terminal Teluk Lamong. The value of load impedance at PT. Terminal Teluk Lamong makes inverse relay at PT. PLN (Persero) trip at 0.372 seconds for phase overcurrent relay. In addition, due to the setting of ground relay on PT. PLN (Persero) is only 0.1 seconds with inverse curve and make rele PT. PLN (Persero) active first when there was a phase to ground failure in system 20kV and causing the electrical system of PT. Terminal Teluk Lamong blackout completely. The use of insulating transformers with the delta-wye winding configuration is expected to provide additional impedance to the system so that the delay time of the greater PLN releases. It can also separates the outgoing parts of PT. PLN (primary transformer) and incoming PT. Terminal Teluk Lamong (secondary part of transformer) so that phase to ground failure can also be solved.*

**Keywords:** *Insulating Transformer, Coordination Protection, Overcurrent Relay.*

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT, serta shalawat dan salam sentiasa terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis memiliki kemampuan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

**“Studi Penggunaan *Insulating Transformer* untuk Mengatasi Kegagalan Koordinasi Proteksi di PT. Terminal Teluk Lamong”**

Tugas Akhir ini di susun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya berupa kekuatan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Ayahanda Hari Purwanto dan Ibunda Setyowati serta Kharisma Berlian Kusuma sebagai keluarga penulis atas doa serta dukungan moral dan materiil kepada penulis.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D, sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya dalam Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Teknik Elektro ITS.
5. Bagus Wahyu Santoso yang selalu menemani, membantu dan memberi ketenangan pikiran serta sebagai teman diskusi yang paling baik dalam menyelesaikan permasalahan yang ada.
6. Vania A.U, Avonthea S, Dewi N.U, Rizky O, Hanif R, Imroatul H, Firda J, Fidya E.P, Shofia K.S, Imam S.T, Putu E.P, M.Ilham R, Wahyu K, dan M.Irfan B dan seluruh teman LJ 2015 atas kebersamaan serta bantuan semangat yang telah tcurahkan.
7. Seluruh pihak yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat menambah ilmu dan wawasan bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juni 2017  
Penulis



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

## JUDUL

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

## LEMBAR PENGESAHAN

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv

## BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Relevansi .....	5

## BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Pengertian Gangguan dan Klasifikasi Gangguan [1] .....	7
2.1.1 Gangguan Berdasarkan Sifatnya [4] .....	10
2.1.1.1. <i>Gangguan sementara (temporary)</i> .....	10
2.1.1.2. <i>Gangguan permanen (stationary)</i> .....	10
2.1.2 Jenis Gangguan Berdasarkan Asalnya .....	10
2.1.2.1. <i>Gangguan berasal dari dalam sistem</i> .....	10
2.1.2.2. <i>Gangguan berasal dari luar sistem</i> .....	10
2.1.3 Jenis Gangguan Berdasarkan Kesimetrisannya [5]....	11
2.1.3.1. <i>Gangguan Hubung Singkat Simetris</i> ) .....	11
2.1.3.2. <i>Gangguan Hubung Singkat Tak Simetri Asymetris</i> ).....	11
2.2 Gangguan Hubung Singkat ( <i>Short Circuit Fault</i> ) [5] .....	11
2.2.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....	12
2.2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa .....	12
2.2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah .....	13
2.2.4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah .....	14
2.3 Sistem Pengaman Tenaga Listrik.....	15

2.4 Rele.....	16
2.4.1 Rele Arus Lebih ( <i>Over Current Relay</i> ) .....	18
2.4.1.1. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite</i> ) .....	21
2.4.1.2. Rele Arus Lebih Waktu Seketika ( <i>Instantaneous</i> ).....	22
2.4.1.3. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik ( <i>Inverse</i> ) [8] .....	23
2.4.2 Rele Gangguan ke Tanah ( <i>Ground Fault Relay</i> ). ..	25
2.5 <i>Insulating Transformer</i> .....	27

### **BAB III. SISTEM KELISTRIKAN PT. TERMINAL TELUK LAMONG**

3.1. Sistem Kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong.....	29
3.2. Kapasitas Pembangkitan PT. Terminal Teluk Lamong .....	30
3.3. Data Transformator PT. Terminal Teluk Lamong.....	30
3.4. Data Beban PT. Terminal Teluk Lamong .....	31
3.5. Data Kabel PT. Terminal Teluk Lamong .....	33
3.6. Data Rating Bus PT. Terminal Teluk Lamong.....	36

### **BAB IV SIMULASI DAN ANALISA**

4.1 Analisa <i>Sequence of Operation</i> / Koordinasi Rele Kondisi <i>Existing</i> .....	39
4.1.1 Case 1 ( <i>Sequence of operation</i> pada bus HVS1-Bus)	40
4.1.1.1 <i>Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa pada HVS1-Bus</i> .....	40
4.1.1.2 <i>Sequence of Operation Gangguan Fasa ke Tanah pada HVS1-Bus</i> .....	42
4.1.2 Case 2 ( <i>Sequence of operation</i> pada bus HVS2-Bus B).....	43
4.1.2.1 <i>Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa Pada HVS2-BusB</i> .....	44
4.1.2.2 <i>Sequence of Operation Gangguan Fasa ke Tanah pada HVS2-BusB</i> .....	45
4.1.3 Case 3 ( <i>Sequence of operation</i> pada bus HVS2-Bus A).....	48
4.1.3.1 <i>Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa pada HVS2BusA</i> .....	48
4.1.3.2 <i>Sequence of Operation Gangguan Fasa ke</i>	

<i>Tanah pada HVS2-BusA</i> .....	49
4.1.4 <i>Case 4 (Sequence of operation pada bus</i> <i>HVS3-Bus B)</i> .....	52
4.1.4.1 <i>Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa</i> <i>pada HVS3-BusB</i> .....	52
4.1.4.2 <i>Sequence of Operation Gangguan Fasa ke</i> <i>Tanah pada HVS3-BusB</i> .....	53
4.1.5 <i>Case 5 (Sequence of operation pada bus</i> <i>HVS3-Bus A)</i> .....	55
4.1.5.1 <i>Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa</i> <i>pada HVS3-BusA</i> .....	56
4.1.5.2 <i>Sequence of Operation Gangguan Fasa ke</i> <i>Tanah pada HVS3-BusA</i> .....	57
4.2. <i>Pemasangan dan Pemilihan Kapasitas Insulating</i> <i>Transformer</i> .....	60
4.3 <i>Pemilihan Tipikal</i> .....	64
4.4 <i>Studi Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa</i> .....	65
4.4.1 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1</i> .....	65
4.4.1.1 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1A</i> . ..	67
4.4.1.2 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1B</i> . ..	78
4.4.1.3 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1C</i> . ..	89
4.4.2 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2</i> .....	105
4.4.3 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3</i> .....	120
4.4.4 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4</i> .....	132
4.5 <i>Studi Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke</i> <i>Tanah</i> .....	146
4.5.1 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke</i> <i>Tanah Tipikal 1</i> .....	146
4.5.1.1 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke</i> <i>Tanah Tipikal 1A</i> .....	146
4.5.1.2 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke</i> <i>Tanah Tipikal 1B</i> .....	154
4.5.1.3 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke</i> <i>Tanah Tipikal 1C</i> .....	164
4.5.2 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah</i> <i>Tipikal 2</i> .....	176
4.5.3 <i>Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah</i> <i>Tipikal 3</i> .....	188

4.5.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah Tipikal 4.....	198
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	209
5.2 Saran.....	210
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	211
<b>LAMPIRAN</b>	
<i>Single Line Diagram PT. Terminal Teluk Lamong.....</i>	213
Pemilihan Tipikal Fasa dan <i>Ground</i> pada Sistem Kelistrikan di PT. Terminal Teluk Lamong.....	215
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	217

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Arah Aliran Arus Hubung Singkat Ketika Terjadi Gangguan.....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....	12
<b>Gambar 2.3</b>	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah .....	13
<b>Gambar 2.5</b>	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah .....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Zona proteksi dalam sistem tenaga listrik [6] .....	16
<b>Gambar 2.7</b>	Skema Konsep Kerja Rele .....	17
<b>Gambar 2.8</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite time relay</i> ).....	22
<b>Gambar 2.9</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika .....	23
<b>Gambar 2.10</b>	Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih <i>Inverse</i> berdasarkan IEEE 242-2001 [4].....	24
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Single Line Diagram</i> PT. Terminal Teluk Lamong .	29
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Cases Sequences of Operation Existing</i> .....	39
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS1-Bus.....	40
<b>Gambar 4.3</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS1-Bus.....	42
<b>Gambar 4.4</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS2-BusB.....	44
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS2-BusB.....	46
<b>Gambar 4.6</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS2-BusA.....	48
<b>Gambar 4.7</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS2-BusA.....	50
<b>Gambar 4.8</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS3-BusB.....	52
<b>Gambar 4.9</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS3-BusB.....	54
<b>Gambar 4.10</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS3-BusA.....	56
<b>Gambar 4.11</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS3-BusA.....	58

<b>Gambar 4.12</b>	<i>Single Line Diagram</i> PT. Terminal Teluk Lamong Setelah Pemasangan <i>Insulating transformer</i> .....	62
<b>Gambar 4.13</b>	Pemilihan Tipikal Fasa dan <i>Ground</i> pada Sistem Kelistrikan di PT. Terminal Teluk Lamong .....	64
<b>Gambar 4.14</b>	<i>Single Line Diagram</i> Gangguan Fasa Tipikal 1 .....	66
<b>Gambar 4.15</b>	<i>Single Line Diagram</i> Gangguan Fasa Tipikal 1A....	67
<b>Gambar 4.16</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1A.....	68
<b>Gambar 4.17</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Gangguan Fasa Tipikal 1A ....	71
<b>Gambar 4.18</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1A.....	76
<b>Gambar 4.19</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Gangguan Fasa Tipikal 1A. .	77
<b>Gambar 4.20</b>	<i>Single Line Diagram</i> Gangguan Fasa Tipikal 1B....	78
<b>Gambar 4.21</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B.....	80
<b>Gambar 4.22</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Gangguan Fasa Tipikal 1B ....	81
<b>Gambar 4.23</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B.....	87
<b>Gambar 4.24</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 1B .....	88
<b>Gambar 4.25</b>	<i>Single Line Diagram</i> Gangguan Fasa Tipikal 1C....	89
<b>Gambar 4.26</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1C.....	91
<b>Gambar 4.27</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Gangguan Fasa Tipikal 1C .....	93
<b>Gambar 4.28</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1C.....	102
<b>Gambar 4.29</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Gangguan Fasa Tipikal 1C....	104
<b>Gambar 4.30</b>	<i>Single Line Diagram</i> Gangguan Fasa Tipikal 2 .....	105
<b>Gambar 4.31</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Tipikal 2.....	107
<b>Gambar 4.32</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Gangguan Fasa Tipikal 2 .....	110
<b>Gambar 4.33</b>	<i>Sequence of operation Resetting</i> Rele Tipikal 2.....	117
<b>Gambar 4.34</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 2.....	119
<b>Gambar 4.35</b>	<i>Single Line Diagram</i> Gangguan Fasa Tipikal 3 .....	120
<b>Gambar 4.36</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 3.....	122
<b>Gambar 4.37</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal 3.....	123
<b>Gambar 4.38</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 3.....	122
<b>Gambar 4.39</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Gangguan Fasa Tipikal 3 ....	131
<b>Gambar 4.40</b>	<i>Single Line Diagram</i> Gangguan Fasa Tipikal 4 .....	132

<b>Gambar 4.41</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 4.....	134
<b>Gambar 4.42</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal 4.....	135
<b>Gambar 4.43</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 4.....	143
<b>Gambar 4.44</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 4.....	145
<b>Gambar 4.45</b>	<i>Single Line Diagram</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1A.....	146
<b>Gambar 4.46</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Fasa ke Tanah Rele Tipikal 1A.....	148
<b>Gambar 4.47</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Fasa ke Tanah Tipikal 1A.....	149
<b>Gambar 4.48</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1A.....	152
<b>Gambar 4.49</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Fasa ke Tanah Tipikal 1A.....	153
<b>Gambar 4.50</b>	<i>Single Line Diagram</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B.....	154
<b>Gambar 4.51</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B.....	156
<b>Gambar 4.52</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Fasa ke Tanah Tipikal 1B.....	157
<b>Gambar 4.53</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B.....	161
<b>Gambar 4.54</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Fasa ke Tanah Tipikal 1B.....	163
<b>Gambar 4.55</b>	<i>Single Line Diagram</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C.....	164
<b>Gambar 4.56</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C.....	166
<b>Gambar 4.57</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Fasa ke Tanah Tipikal 1C.....	168
<b>Gambar 4.58</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C.....	174
<b>Gambar 4.59</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Fasa ke Tanah Tipikal 1C.....	175
<b>Gambar 4.60</b>	<i>Single Line Diagram</i> Fasa ke Tanah Tipikal 2.....	176
<b>Gambar 4.61</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2.....	178
<b>Gambar 4.62</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Fasa ke Tanah Tipikal 2.....	180
<b>Gambar 4.63</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2.....	186
<b>Gambar 4.64</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Fasa ke Tanah Tipikal2.....	187
<b>Gambar 4.65</b>	<i>Single Line Diagram</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3.....	188



<b>Gambar 4.66</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3.....	190
<b>Gambar 4.67</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Fasa ke Tanah Tipikal 3.....	191
<b>Gambar 4.68</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3.....	196
<b>Gambar 4.69</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3	197
<b>Gambar 4.70</b>	<i>Single Line Diagram</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4	198
<b>Gambar 4.71</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4.....	200
<b>Gambar 4.72</b>	Kurva TCC <i>Existing</i> Fasa ke Tanah Tipikal 4.....	201
<b>Gambar 4.73</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4.....	206
<b>Gambar 4.74</b>	Kurva TCC <i>Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4	207

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Data Generator PT. Terminal Teluk Lamong.....	30
<b>Tabel 3.2</b>	Data Transformator di PT. Terminal Teluk Lamong.....	30
<b>Tabel 3.3</b>	Data Static Load dan Lumped Load pada PT. Terminal Teluk Lamong .....	32
<b>Tabel 3.4</b>	Data Kabel pada PT. Terminal Teluk Lamong.....	33
<b>Tabel 3.5</b>	Data <i>Rating</i> bus PT. Terminal Teluk Lamong .....	36
<b>Tabel 4.1</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Bus HVS1-Bus.....	41
<b>Tabel 4.2</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Pada Bus HVS1-Bus.....	43
<b>Tabel 4.3</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Bus HVS2-BusB.....	45
<b>Tabel 4.4</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Pada Bus HVS2-BusB.....	47
<b>Tabel 4.5</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Bus HVS2-BusA.....	49
<b>Tabel 4.6</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Pada Bus HVS2-BusA.....	51
<b>Tabel 4.7</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Bus HVS3-BusB.....	53
<b>Tabel 4.8</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Pada Bus HVS3-BusB.....	55
<b>Tabel 4.9</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Bus HVS3-BusA.....	57
<b>Tabel 4.10</b>	<i>Sequence of Operation</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Pada Bus HVS3-BusA.....	59
<b>Tabel 4.11</b>	Data Setting Rele PLN .....	60
<b>Tabel 4.12</b>	Pemilihan Impedansi <i>Insulating transformer</i> .....	61
<b>Tabel 4.13</b>	Perbandingan Arus Hubung Singkat Sebelum dan Setelah Dipasang <i>Insulating Transformer</i> .....	63
<b>Tabel 4.14</b>	Data <i>Existing</i> Rele Gangguan Tiga Fasa Tipikal 1A.....	67
<b>Tabel 4.15</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1A.....	69
<b>Tabel 4.16</b>	Data <i>Resetting</i> Rele Gangguan Fasa Tipikal 1A .....	74
<b>Tabel 4.17</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1A.....	75

<b>Tabel 4.18</b>	<i>Data Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B</i> .....	78
<b>Tabel 4.19</b>	<i>Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1B</i> .....	79
<b>Tabel 4.20</b>	<i>Data Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B</i> .....	86
<b>Tabel 4.21</b>	<i>Sequence of Operation Resetting Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1B</i> .....	86
<b>Tabel 4.22</b>	<i>Data Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 1C</i> .....	89
<b>Tabel 4.23</b>	<i>Sequence of operation Existing Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1C</i> .....	92
<b>Tabel 4.24</b>	<i>Data Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 1C</i> .....	101
<b>Tabel 4.25</b>	<i>Sequence of Operation Resetting Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1C</i> .....	103
<b>Tabel 4.26</b>	<i>Data Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 2</i> .....	105
<b>Tabel 4.27</b>	<i>Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 2</i> .....	108
<b>Tabel 4.28</b>	<i>Data Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 2</i> .....	116
<b>Tabel 4.29</b>	<i>Sequence of Operation Resetting Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 2</i> .....	118
<b>Tabel 4.30</b>	<i>Data Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 3</i> .....	120
<b>Tabel 4.31</b>	<i>Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 3</i> .....	121
<b>Tabel 4.32</b>	<i>Data Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 3</i> .....	128
<b>Tabel 4.33</b>	<i>Sequence of Operation Resetting Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 3</i> .....	129
<b>Tabel 4.34</b>	<i>Data Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 4</i> .....	132
<b>Tabel 4.35</b>	<i>Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 4</i> .....	133
<b>Tabel 4.36</b>	<i>Data Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 4</i> .....	142
<b>Tabel 4.37</b>	<i>Sequence of Operation Resetting Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 4</i> .....	144
<b>Tabel 4.38</b>	<i>Data Existing Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1A</i> .....	147
<b>Tabel 4.39</b>	<i>Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1A</i> .....	147
<b>Tabel 4.40</b>	<i>Data Resetting Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1A</i> .....	151
<b>Tabel 4.41</b>	<i>Sequence of Operation Resetting Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1A</i> .....	153
<b>Tabel 4.42</b>	<i>Data Existing Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B</i> .....	154
<b>Tabel 4.43</b>	<i>Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1B</i> .....	155

<b>Tabel 4.44</b>	Data <i>Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B .....	160
<b>Tabel 4.45</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1B.....	162
<b>Tabel 4.46</b>	Data <i>Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C.....	164
<b>Tabel 4.47</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1C.....	167
<b>Tabel 4.48</b>	Data <i>Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C .....	172
<b>Tabel 4.49</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1C.....	173
<b>Tabel 4.50</b>	Data <i>Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2.....	176
<b>Tabel 4.51</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 2 .....	179
<b>Tabel 4.52</b>	Data <i>Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2.....	183
<b>Tabel 4.53</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 2 .....	184
<b>Tabel 4.54</b>	Data <i>Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3.....	188
<b>Tabel 4.55</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 3 .....	189
<b>Tabel 4.56</b>	Data <i>Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3.....	194
<b>Tabel 4.57</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 3 .....	194
<b>Tabel 4.58</b>	Data <i>Existing</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4.....	198
<b>Tabel 4.59</b>	<i>Sequence of Operation Existing</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 4 .....	199
<b>Tabel 4.60</b>	Data <i>Resetting</i> Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4.....	204
<b>Tabel 4.61</b>	<i>Sequence of Operation Resetting</i> Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 4 .....	205

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam sistem tenaga listrik diperlukan sistem yang dapat menjamin keandalan penyaluran. Semakin besar jumlah gangguan, berarti keandalan sistem makin rendah begitu juga sebaliknya. Salah satu indikator rendahnya keandalan sistem adalah seringnya terjadi kegagalan koordinasi proteksi.

PT. Terminal Teluk Lamong merupakan salah satu anak perusahaan PT. Pelabuhan Indonesia III yang terletak di Jl. Raya Tambak Osowilangun KM 12 Surabaya, Jawa Timur. PT. Terminal Teluk Lamong merupakan salah satu terminal pelabuhan tempat terjadinya bongkar muat kontainer dari kapal.

Kegagalan koordinasi pada PT. Terminal Teluk Lamong diakibatkan oleh jarak *time delay* yang digunakan untuk *setting existing* antar rele terlalu kecil (kurang dari 0,2 detik) sehingga terjadi *trip* secara bersamaan pada sistem. Hal ini diakibatkan *setting* rele fasa ke tanah dan *overcurrent* fasa *outgoing* PLN bernilai kecil (0,1 detik untuk fasa ke tanah dan akan *trip* pada waktu 0,355 detik untuk *overcurrent* fasa) sehingga agar urutan *trip* benar, rele – rele yang ada di bawah *outgoing* PLN harus bernilai kurang dari waktu tunda yang ada pada rele PLN dan menyebabkan jarak waktu tunda antar rele terlalu kecil. Waktu tunda pada rele PLN tidak dapat di ubah oleh pihak PT. Terminal Teluk Lamong.

Untuk mengatasi kegagalan koordinasi proteksi *overcurrent* fasa perlu adanya pengurangan arus hubung singkat supaya waktu tunda rele *overcurrent* fasa semakin besar. Salah satu cara untuk mengurangi arus hubung singkat dapat dilakukan dengan penambahan reaktansi pada saluran. Ada beberapa opsi yang dapat digunakan untuk penambahan reaktansi, antara lain dengan penambahan SFCL (*Superconducting Fault Current Limiter*) atau pemasangan *insulating transformer*. Pada kasus kali ini digunakan *insulating transformer* untuk mengatasi kegagalan koordinasi proteksi dengan pertimbangan selain bisa mengurangi arus hubung singkat, *insulating transformer* juga dapat membatasi waktu

tunda antara bagian primer dan sekunder trafo atau dengan kata lain dapat mereset waktu pada rele sisi primer trafo (dalam kasus ini rele PLN) kembali menjadi 0,1 detik atau sesuai nilai yang ditentukan sehingga gangguan fasa ke tanah dapat diatasi. Sedangkan SFCL hanya dapat meredam arus hubung singkat tanpa bisa mereset waktu tunda rele bagian atas SFCL sehingga hanya bisa memperbaiki koordinasi *overcurrent* fasa namun tidak bisa memperbaiki *overcurrent* fasa ke tanah. Pemasangan *insulating transformer* diharapkan dapat memperbaiki sistem koordinasi proteksi menjadi handal kembali.

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan di bahas pada tugas akhir ini adalah untuk mendefinisikan kegagalan koordinasi yang terjadi pada PT. Terminal Teluk Lamong. Selain itu, dilakukan studi penggunaan *insulating transformer* untuk memberikan solusi terhadap masalah yang terjadi pada sistem. Perbandingan hasil antara hasil *setting* koordinasi proteksi awal (bagian *existing*) pada PT. Terminal Teluk Lamong dan hasil *setting* koordinasi proteksi setelah pemasangan *insulating transformer* akan dapat menjelaskan bagaimana pengaruh *insulating transformer* untuk menanggulangi permasalahan yang ada.

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

1. *Setting* rele arus lebih kondisi awal (keadaan *existing*/keadaan yang terpasang) pada PT. Terminal Teluk Lamong
2. *Setting* rele arus lebih di PT. Terminal Teluk Lamong setelah penambahan *insulating transformer*
3. Rele yang digunakan adalah *Over Current Relay* (OCR ) dengan hanya mengatur *setting over current phase* dan *over current ground*
4. *Setting overcurrent relay* yang di bahas pada tugas akhir ini adalah *setting overcurrent relay* pada tegangan 6,6kV dan 20kV.

## 1.4. Tujuan

Tujuan dan manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. Mensimulasikan gangguan kesalahan koordinasi proteksi yang ada pada PT. Pelabuhan Teluk Lamong
2. Mengetahui sebab terjadinya gangguan
3. *Resetting* rele arus lebih di PT. Terminal Teluk Lamong setelah penambahan *insulating transformer*
4. Mandapatkan hasil perbaikan sistem proteksi PT. Terminal Teluk Lamong setelah penambahan *insulating transformer*

## 1.5. Metodologi

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari studi literatur, pengumpulan data, simulasi sistem, analisis data, dan penyusunan laporan tugas akhir.

### 1. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mencari bahan pembelajaran untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan judul tugas akhir seperti studi tentang analisis hubung singkat, koordinasi proteksi, dan analisis perhitungan *setting* rele arus lebih, pengaruh *insulating transformer* pada sistem proteksi dan parameter saluran yang digunakan pada PT. Terminal Teluk Lamong.

### 2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk melakukan kordinasi proteksi adalah data-data panel tegangan menengah dan tegangan tinggi pada *electrical room*. Data-data ini dapat diperoleh dari sistem kelistrikan pada PT. Terminal Teluk Lamong meliputi data-data spesifikasi peralatan , saluran, *Circuit Breaker* (CB) ,*relay*, dan beban.

### 3. Simulasi Sistem

Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi hubung singkat pada sistem kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong untuk mengetahui urutan kerja rele dan waktu tunda antar rele pada kondisi *existing* yang kurang tepat dan studi penggunaan *insulating transformer* dengan reaktansi yang tepat untuk mengurangi arus hubung singkat yang ada agar sistem bekerja dengan benar.

### 4. Analisis Data

Pada PT. Terminal Teluk Lamong pernah terjadi *trip* atau padamnya aliran daya yang diakibatkan gangguan hubung singkat



yang menyebabkan kegagalan koordinasi proteksi. Gangguan yang sering menyebabkan terjadinya kesalahan koordinasi merupakan gangguan fasa ke tanah.

Dari simulasi sistem dapat dianalisa perlu atau tidaknya diberikan penambahan reaktansi berupa *insulating transfomer* untuk membatasi arus hubung singkat yang terjadi. Selain itu, dilakukan juga analisis sebelum dan sesudah dipasangnya *insulating transfomer* serta analisis efek pemasangan *insulating transfomer* pada koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa dan fasa ke tanah. Dari analisis pada pemodelan sistem kelistrikan *plant*, maka akan diperoleh kesimpulan pemasangan *insulating transfomer* pada sistem dan pengaruhnya terhadap arus hubung singkat serta koordinasi proteksi rele arus lebih yang tepat pada sistem.

## **5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir**

Penyusunan laporan dilakukan dari awal melakukan studi literatur hingga analisis data serta mendapat kesimpulan terhadap pemasangan *Insulating Transfomer* pada *plant* PT. Terminal Teluk Lamong.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini akan di bagi menjadi beberapa bab dengan sistematika penulisan laporan sebagai berikut.

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang masalah, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi dari tugas akhir yang dikerjakan.

### **BAB II : TEORI PENUNJANG**

Pada bab teori penunjang ini berisi mengenai referensi teori-teori yang digunakan untuk menunjang pengerjaan tugas akhir serta tinjauan pustaka mengenai metode serupa yang pernah digunakan untuk mengatasi permasalahan yang ada.

### **BAB III : SISTEM KELISTRIKAN**

Bab sistem kelistrikan ini menjelaskan tentang konfigurasi sistem kelistrikan yang ada pada PT. Terminal Teluk Lamong dan juga berisi mengenai data-data kelistrikan pada pabrik tersebut.

## **BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISA**

Pada bab hasil simulasi dan analisa dijelaskan mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan dan kemudian menampilkan juga studi analisa hubung singkat dan studi koordinasi proteksi setelah dan sebelum ditambahkan *insulating transformer* untuk menanggulangi kegagalan sistem koordinasi proteksi.

## **BAB V : PENUTUP**

Pada bab penutup ini dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran dari hasil studi analisa yang telah dilakukan.

### **1.7. Relevansi**

#### **a. Untuk Perusahaan**

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan dalam hal peningkatan kontinuitas penyaluran daya pada sistem kelistrikan serta meminimalisir biaya pergantian peralatan akibar kerusakan yang terjadi karena kesalahan koordinasi proteksi.

#### **b. Untuk Bidang Ilmu Pengetahuan**

Sebagai penelitian lebih lanjut dalam pengembangan penggunaan *insulating transformer*, dan sebagai referensi mahasiswa lain yang mengambil masalah serupa untuk tugas akhir.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1. Pengertian Gangguan dan Klasifikasi Gangguan [1]**

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan kegagalan penyaluran energi listrik pada sistem yang diakibatkan oleh adanya suatu kecacatan pada sistem sehingga muncul arus gangguan yang dapat menyebabkan berbagai masalah sistem kelistrikan dan berbahaya bagi peralatan dan juga manusia. Gangguan ini menyebabkan sistem menjadi tidak normal sehingga akan terjadi ketidakseimbangan arus pada masing-masing fasa atau adanya arus yang mengalir dari konduktor menuju ke tanah atau ke konduktor lainnya. Beberapa penyebab gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu :

- a) Adanya hewan dalam peralatan.
- b) *Overheating* pada peralatan.
- c) Tegangan surja dan faktor alam lainnya.
- d) Kerusakan isolasi karena usia.
- e) Tegangan atau tekanan mekanis pada peralatan.
- f) Akumulasi kelembaban dan kontaminan.
- g) Pemasangan yang kurang baik (kesalahan atau kelalaian dari pada manusia)
- h) Kerusakan material seperti isolator pecah.
- i) Dan penyebab lainnya [2]

Untuk menjamin kontinuitas penyaluran perlu dilakukan beberapa usaha untuk meminimalisir terjadinya gangguan tenaga listrik yang mungkin terjadi. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan pemberian proteksi yang handal pada sistem tenaga listrik untuk mencegah terjadinya gangguan penyaluran energi listrik. Langkah awal yang digunakan untuk melakukan proteksi sistem tenaga adalah dengan menganalisa gangguan yang mungkin terjadi dalam sistem dengan tujuan seperti berikut :

1. Penyelidikan terhadap benar tidaknya urutan koordinasi kerja rele proteksi
2. Untuk menentukan waktu bekerjanya rele proteksi
3. Untuk mengetahui kapasitas maksimum dari *circuit breaker*

4. Untuk mengetahui distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan sistem pada saat terjadinya gangguan. [3]

Ada beberapa efek gangguan hubung singkat, misalnya arus hubung singkat yang besar menyebabkan pemanasan sehingga menimbulkan kebakaran atau ledakan, terputusnya aliran daya, terjadinya busur api dan penurunan umur peralatan. Besarnya arus hubung singkat yang terjadi tergantung pada reaktansi sumber yang menghasilkan hubung singkat. Beberapa peralatan yang menjadi sumber arus gangguan adalah generator, motor sinkron, motor induksi dan *utility* atau *grid*. Ketika ada gangguan, maka arus dari sumber tersebut akan mengalir menuju titik gangguan. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai peralatan yang berkontribusi memberikan arus saat gangguan.

a. Generator

Tegangan yang dihasilkan oleh generator menimbulkan adanya arus hubung singkat yang besar dan mengalir menuju titik gangguan. Aliran arus ini dibatasi oleh nilai reaktansi generator dan reaktansi rangkaian antara generator dan titik gangguan. Reaktansi tersebut yaitu :

- $X''_d$  = reaktansi *subtransient*, adalah nilai reaktansi untuk menentukan arus hubung singkat selama *cycle* pertama setelah hubung singkat terjadi, waktunya sekitar 0,05 – 0,1 detik.
- $X'_d$  = reaktansi *transient*, adalah nilai reaktansi untuk menentukan arus hubung singkat selama beberapa *cycle* setelah hubung singkat terjadi, yaitu dalam waktu sekitar 0,2 – 2 detik.
- $X_d$  = reaktansi sinkron adalah nilai reaktansi untuk menentukan arus hubung singkat setelah keadaan *steady state* di capai.

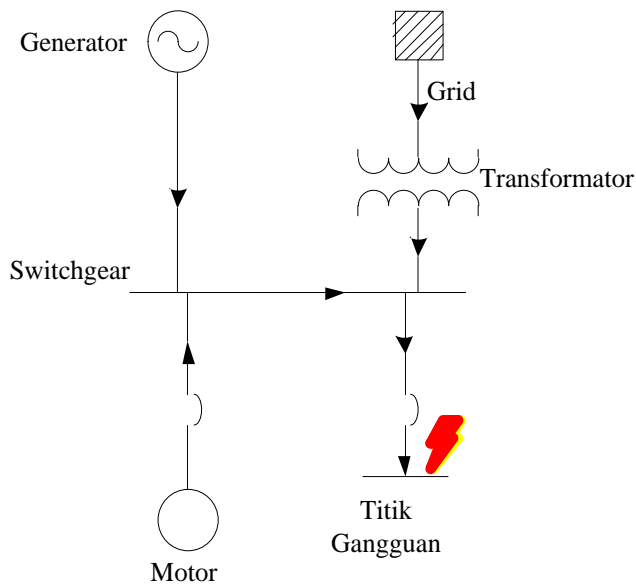
b. Motor Sinkron

Ketika terjadi gangguan dan tegangan sistem menjadi turun, dengan nilai yang sangat rendah maka motor sinkron berhenti mengambil daya dari sistem untuk memutar beban dan melambat. Tetapi inersia beban mencegah motor untuk melambat sehingga motor bekerja sebagai generator yang menyuplai arus hubung singkat. Motor sinkron menyumbang arus kontribusi hanya saat keadaan *subtransient*.

c. Motor Induksi

Pada motor induksi, adanya *flux* medan dihasilkan oleh induksi dari stator dan bukan dari belitan medan dc. Karena *flux* hilang dengan cepat setelah gangguan, kontribusi motor induksi menurun dengan cepat dan mati sepenuhnya setelah beberapa *cycle* sehingga motor induksi hanya mempunyai nilai reaktansi *subtransient* atau  $X''_d$  dan tidak memberikan arus kontribusi pada saat keadaan *steady state*.

Semua sumber arus hubung singkat harus dipertimbangkan ketika merancang sistem koordinasi proteksi tenaga listrik. Distribusi arus dan tegangan mulai dari sumber, peralatan listrik lainnya hingga ke titik gangguan merupakan salah satu hal yang sangat penting untuk diketahui pada sistem proteksi tenaga listrik. Arus hubung singkat yang terjadi akan mengalir menuju titik gangguan. Arus hubung singkat yang timbul disumbangkan oleh beberapa peralatan yaitu generator, grid, motor induksi dan motor sinkron. Besarnya arus hubung singkat dipengaruhi oleh besarnya reaktansi sumber dan reaktansi peralatan yang dilalui arus hubung singkat. Arah aliran arus hubung singkat ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Arah Aliran Arus Hubung Singkat Ketika Terjadi Gangguan

Dalam sistem tenaga listrik di kenal ada beberapa jenis gangguan. Berikut adalah klasifikasi gangguan yang ada pada sistem tenaga listrik pada umumnya.

#### **2.1.1. Jenis Gangguan Berdasarkan Sifatnya [4]**

Berdasarkan sifat lama terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik terdapat dua jenis gangguan yaitu sebagai berikut.

##### ***2.1.1.1. Gangguan sementara (temporary)***

Merupakan gangguan yang dapat langsung hilang dengan sendirinya pada bagian yang terganggu ketika diputus secara sesaat dari sumber tegangannya.

##### ***2.1.1.2. Gangguan permanen (stationary)***

Merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada ketika pemutus tenaga (CB) telah terbuka. Diperlukan tindakan perbaikan pada titik gangguan untuk menanggulangi gangguan permanen.

#### **2.1.2. Jenis Gangguan Berdasarkan Asalnya**

Berdasarkan asal terjadinya gangguan sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi dua sebagai berikut.

##### ***2.1.2.1. Gangguan berasal dari dalam sistem***

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain disebabkan oleh kesalahan mekanis pada sistem. Beberapa penyebab gangguan antara lain adalah proses penuaan atau karena kerusakan material seperti putusnya kawat penghantar, isolator pecah, retaknya bearing atau pemasangan instalasi yang kurang baik. Tegangan dan arus tidak normal pada sistem serta beban yang melebihi kapasitas sistem juga dapat menyebabkan gangguan sistem kelistrikan.

##### ***2.1.2.2. Gangguan berasal dari luar sistem***

Gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain adalah pengaruh cuaca dan lingkungan. Pengaruh cuaca yang menyebabkan gangguan adalah adanya hujan, angin, serta surja petir. Pengaruh lingkungan juga bisa menyebabkan gangguan misalnya pohon tumbang, benda asing jatuh, dan juga akibat kecerobohan manusia lainnya.

Gangguan surja petir dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena energi yang ditimbulkan petir sangat besar sehingga dapat menembus isolasi peralatan dan menyebabkan terjadinya *breakdown*.

### **2.1.3. Jenis Gangguan Berdasarkan Kesimetrisannya [5]**

Berdasarkan kesimetrisannya, jenis gangguan dibedakan menjadi dua jenis sebagai berikut.

#### **2.1.3.1. Gangguan Hubung Singkat Simetris**

Gangguan hubung singkat simetri dapat di sebut juga sebagai gangguan hubung singkat seimbang yang artinya gangguan terjadi pada semua fasanya sekaligus sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang meskipun gangguan terjadi. Gangguan ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif. Gangguan hubung singkat simetris terdiri dari :

- a. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa
- b. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

#### **2.1.3.2. Gangguan Hubung Singkat Tak Simetris (Asymetris)**

Gangguan hubung singkat asimetri dapat di sebut juga sebagai gangguan tidak seimbang yang artinya gangguan yang ada mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan pada tegangan dan arus pada setiap fasanya. Gangguan hubung singkat asimetri dapat mengakibatkan arus yang sangat besar pada fasa yang mengalami gangguan sekaligus mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Gangguan ini terdiri dari:

- a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
- b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa
- c. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

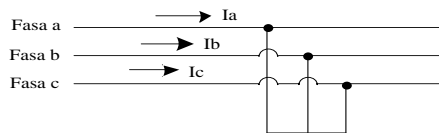
## **2.2. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit Fault*) [5]**

Untuk menentukan setelan (*setting*) untuk rele proteksi dan rating dari pemutus tenaga / *circuit breaker* yang digunakan perlu dilakukan analisa distribusi arus dan tegangan di berbagai tempat sebagai akibat timbulnya gangguan. Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis antara lain sebagai berikut.



### 2.2.1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan ini mempunyai nilai arus hubung singkat terbesar dibandingkan dengan hubung singkat lainnya. Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan hubung singkat simetris, sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sistem seperti ini hanya dapat dianalisa dengan menggunakan komponen pengganti urutan positif. Gambar rangkaian hubung singkat tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Persamaan 2.1 berikut merupakan persamaan untuk menghitung besarnya arus hubung singkat tiga fasa.

$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{x_1} \quad (2.1)$$

Keterangan:

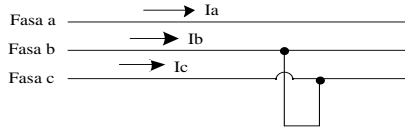
$I_{sc\ 3\phi}$  = Arus hubung singkat 3 fasa

$V_{LN}$  = tegangan nominal *line to netral*

$x_1$  = reaktansi urutan positif

### 2.2.2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi antara kedua fasanya tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat dua fasa merupakan arus hubung singkat paling minimum daripada arus hubung singkat lainnya. Pada gangguan hubung singkat dua fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada fasa yang terhubung ke tanah. Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Besarnya arus hubung singkat dua fasa dapat di hitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{x_1 + x_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} x I_{sc\ 3\phi} \approx 0.866 \times I_{sc\ 3\phi} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$I_{sc\ 2\phi}$  = Arus hubung singkat 2 fasa

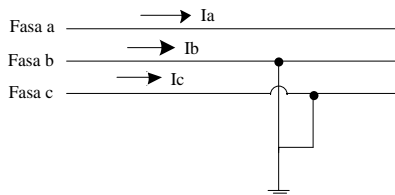
$V_{LL}$  = tegangan nominal *line to line*

$x_1$  = reaktansi urutan positif

$x_2$  = reaktansi urutan negative

### 2.2.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke tanah

Hubung singkat 2 fasa ke tanah merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi antara kedua fasanya yang secara bersamaan dua fasa yang terkena gangguan terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah merupakan gangguan hubung singkat asimetris. Sebagaimana gangguan asimetris lainnya gangguan dua fasa ke tanah perlu direpresentasikan ke komponen simetris untuk menganalisa gangguan gubung singkat yang terjadi. Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa ke tanah dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Besarnya arus hubung singkat dua fasa ke tanah dapat di hitung menggunakan persamaan 2.3.

$$I_{A1} = \frac{V_f}{z_1 + z_2 z_0 / (z_2 + z_0)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$I_{A1}$  = Arus hubung singkat 2 fasa ke tanah

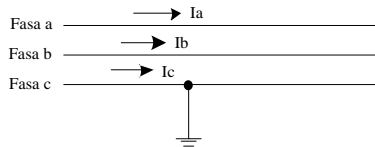
$V_{LL}$  = tegangan nominal *line to line*

$x_1$  = reaktansi urutan positif

$x_2$  = reaktansi urutan negatif

#### 2.2.4. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan jenis gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan jenis gangguan asimetris, sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa arus gangguan saat terjadi gangguan. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan pada komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol. Gambar rangkaian hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat di hitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3V_{LN}}{x_1 + x_2 + x_0} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$I_{sc\ 1\phi}$  = Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah

$V_{LN}$  = tegangan nominal *line to netral*

$x_0$  = reaktansi urutan nol

$x_1$  = reaktansi urutan positif

$x_2$  = reaktansi urutan negatif

### 2.3. Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Sistem pengaman tenaga listrik yaitu sistem yang digunakan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik yang berada pada sistem dari arus abnormal yang dapat merusak peralatan dan mengganggu kontinuitas penyaluran energi listrik pada sistem itu sendiri. Yang dimaksud kondisi abnormal merupakan kondisi gangguan hubung singkat, gangguan tegangan lebih, gangguan beban lebih dan lain – lain. Fungsi utama dari sistem pengaman yaitu antara lain untuk memisahkan bagian jaring yang terganggu dengan bagian yang normal, mengidentifikasi gangguan, menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan, melokalisasi daerah yang terganggu sehingga daerah yang terganggu menjadi semakin kecil serta menjaga keandalan dalam kontinuitas pelayanan tenaga listrik ke pelanggan dan lain sebagainya.

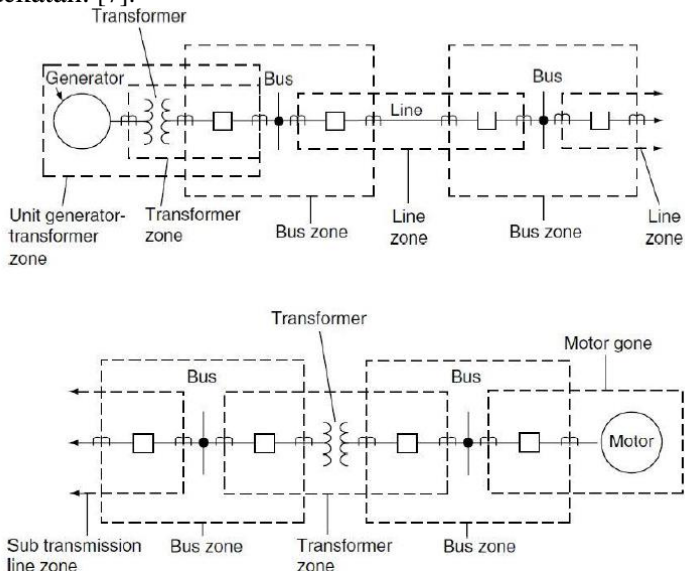
Perlu di catat bahwa penggunaan istilah proteksi atau perlindungan tidak menunjukkan atau mengisyaratkan bahwa peralatan perlindungan dapat mencegah masalah, seperti kesalahan dan kegagalan peralatan, atau kejutan listrik karena kontak manusia yang tidak disengaja. Hal ini tidak bisa mengantisipasi masalah. Rele pelindung bertindak hanya setelah kondisi abnormal atau tak tertahankan telah terjadi, pada indikasi yang cukup untuk memungkinkan operasinya dimulai. Dengan demikian proteksi bukan berarti pencegahan, melainkan, meminimalkan durasi masalah dan membatasi kerusakan, waktu pemadaman, dan masalah terkait yang dapat mengakibatkan sebaliknya.[7]

Sistem tenaga dibagi menjadi beberapa zona proteksi yang digolongkan berdasarkan peralatan dan circuit breakers yang tersedia dalam sistem. Enam kategori zona perlindungan yang mungkin dalam setiap sistem daya:

- (1) generator dan unit generator- transformator
- (2) transformator
- (3) bus
- (4) *line* (transmisi, subtransmisi, dan distribusi)
- (5) peralatan utilisasi (motor, beban statis, atau lainnya),
- (6) kapasitor atau *reaktor bank* (ketika keadaan secara terpisah dari peralatan lainnya).

Sebagian besar zona ini diilustrasikan pada Gambar 2.6. Meskipun dasar-dasar proteksi yang cukup mirip, masing-masing enam kategori memiliki rele perlindungan (*protective*), khusus dirancang untuk perlindungan utama, yang didasarkan pada karakteristik dari peralatan

yang dilindungi. Perlindungan masing-masing zona biasanya termasuk rele cadangan dari rele utama untuk melindungi peralatan yang berdekatan. [7].



**Gambar 2.6** Zona proteksi dalam sistem tenaga listrik [7]

## 2.4. Rele

Rele pengaman adalah peralatan listrik yang di rancang untuk memulai pemisahan bagian sistem tenaga listrik atau untuk mengoperasikan sinyal bila terjadi gangguan. Rele pengaman terdiri dari sebuah elemen operasi dan kontak. Elemen operasi akan menerima masukan dari trafo arus. Rele akan memberikan sinyal kepada pemutus tenaga agar membuka dan mengisolasi sistem tenaga lain dari gangguan yang terjadi jika keadaan keluaran kontak rele menutup [7]. Dalam penyetelan sebuah rele harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan operasi pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu hal-hal yang mempengaruhi dalam penyetelan rele harus benar-benar diperhatikan. Gambar 2.7 merupakan skema konsep kerja rele.



**Gambar 2.7** Skema Konsep Kerja Rele

Rele pengamanan mempunyai beberapa syarat untuk mengidentifikasi gangguan yaitu : Kepekaan Operasi (*sensitivity*), Selektif (*Selectivity*), Keandalan (*Realibility*), Kecepatan Bereaksi, dan Ekonomis. Berikut penjelasan lima aspek dasar rele proteksi

### 1. Sensitivitas

Merupakan kemampuan sistem proteksi untuk mengidentifikasi adanya ketidaknormalan atau gangguan di dalam daerah yang diproteksinya. Rele harus cukup peka dalam mengidentifikasi adanya gangguan minimum. Kepekaan rele diartikan sebagai kemampuan merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi kerja normal.

### 2. Selektivitas

Selektivitas suatu system proteksi jaringan tenaga listrik adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan *tripping* secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi. Dalam hal ini rele hanya membuka pemutus tenaga yang diperlukan saja (tidak menyebabkan pemutusan/pemadaman jaringan yang lebih luas). Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya sehingga rele harus bekerja cepat atau terletak di sesi pengamanan *backup* dimana dia harus bekerja dengan waktu tunda tertentu atau rele berada pada sisi tidak bekerja sama sekali karena gangguan yang terjadi diluar batas daerah pengamanannya atau ketika sama sekali tidak ada gangguan.

### 3. Keandalan

Kemampuan sistem proteksi untuk menjamin peralatan proteksi akan bekerja jika terjadi suatu gangguan dan tidak akan bekerja jika tidak terjadi gangguan. Ada tiga aspek keandalan pengamanan antara lain :

- a. *Dependability* : yaitu tingkat bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya rele pengamanan harus dapat diandalkan dalam mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu dan tidak boleh gagal bekerja sehingga *dependability* rele harus tinggi

- b. *Security* : yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah bekerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Kondisi salah kerja adalah kondisi dimana rele bekerja pada saat seharusnya rele tidak bekerja, misalnya karena lokasi gangguan berada diluar kawasan pengamanannya atau disaat benar-benar tidak ada gangguan sehingga rele seharusnya dalam kondisi tidak bekerja.
- c. *Availability* : yaitu perbandingan antara waktu dimana rele pengamanan harus selalu siap kerja.

#### 4. Kecepatan

Ketika terjadi gangguan, komponen proteksi harus dapat memberikan respon waktu yang tepat dan cepat, sesuai dengan koordinasi proteksi yang diinginkan. Waktu pemutusan diusahakan secepat mungkin sehingga dapat mengurangi meluasnya dampak gangguan sehingga kestabilan dan keandalan sistem menjadi lebih baik

#### 5. Ekonomis

Sistem pengamanan peralatan juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis dari pemasangan peralatan pengamanan tersebut. Karena itu tidak semua peralatan harus dilengkapi dengan pengamanan yang lengkap karena harga peralatan pengamanan juga harus diperhitungkan tanpa menghilangkan efektivitas penyaluran daya listrik. Sisi ekonomis perlu dipertimbangkan setelah aspek teknis telah terpenuhi untuk kelayakan operasi peralatan.

Ada beberapa macam rele yang digunakan sebagai rele proteksi, antara lain adalah rele arus lebih (*overcurrent relay*) dan *ground fault relay*. Berikut adalah penjelasan masing-masing rele.

#### 2.4.1. Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan beberapa gangguan yang diakibatkan adanya arus melebihi nilai batas nominalnya antara lain gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Gangguan yang diamankan oleh rele arus lebih ini sebenarnya lebih menangani gangguan fasa sedangkan untuk gangguan pentanahan (*ground fault*) biasanya ditangani oleh rele *ground fault*. Rele arus lebih bekerja berdasarkan besarnya arus masukan dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat di atur (Ipp) maka rele arus lebih tersebut akan bekerja. Rele arus lebih akan mendeteksi kenaikan besaran arus yang melalui suatu jaring dengan bantuan trafo arus. Jika arus pada jaring melebihi parameter arus pada *setting* rele, maka rele akan mengirim sinyal *trip* kepada pemutus tenaga

agar segera membuka. Rele arus lebih termasuk rele yang sederhana, murah dan mudah untuk *setting*nya

Rele akan beroperasi ketika arus yang mengalir pada fasa dirasakan oleh CT melebihi batas *setting* yang telah di iijinkan. Rele arus lebih akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$I_f > I_{pp}$  rele bekerja (*trip*)

$I_f < I_{pp}$  tidak bekerja (*blok*)

Dimana :

$I_f$  : arus gangguan yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder trafo arus (CT)

$I_p$  : arus *pick up* sebagai parameter harga arus maksimal yang dinyatakan menurut gulungan sekunder trafo arus (CT) [7].

*Setting* arus pada rele harus lebih besar dari arus beban maksimum karena peralatan dapat dioperasikan pada kondisi maksimum dan kondisi ini masih terbilang kondisi aman peralatan sehingga jika settin rele dibawah atau sebesar beban maksimum, rele peralatan tersebut akan *trip* sebelum atau saat peralatan mencapai beban maksimum. Batas penyetelan nominal rele menurut Standart British BS 142-1983 yaitu antara 1,05 sampai 1,3  $I_{FLA}$ . Digunakan konstanta 1,05  $I_{FLA}$  karena lebih aman dan memenuhi permintaan asuransi untuk perhitungan *lowset* rele. Sedangkan pada ANSI batas atas yang digunakan adalah 1,4 $I_{FLA}$ . Sehingga untuk perhitungan *lowset* rele pada tugas akhir ini digunakan persamaan 2.5 dan untuk menghasilkan nilai  $I_{aktual}$  atau nilai arus setting yang nantinya digunakan dalam penentuan nilai *lowset* kurva dapat digunakan persamaan 2.6 dan 2.7.

$$1,05 \times I_{FLA} \leq I_{set} \leq 1,4 \times I_{FLA} \quad (2.5)$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{nCT} \quad (2.6)$$

$$I_{aktual} = I_{set} = Tap \times nCT \quad (2.7)$$

dimana :

$I_{FLA}$  = arus nominal *full load ampere*

Tap = arus *pick up setting* rele

$I_{set}$  = arus *setting* aktual

nCT = rasio CT.



Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum *setting* seperti pada persamaan 2.8 berikut.

$$I_{FLA} \leq I_{set} \leq I_{SC \min} \quad (2.8)$$

dimana :

$I_{FI}$  = arus beban penuh atau maksimum

$I_{set}$  = arus *pick up* pada sisi primer trafo arus (CT)

$I_{sc \min}$  = arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum

Karena  $I_{sc \min}$  yang terjadi berada pada ujung saluran dan berasal dari arus hubung singkat 3 fasa yang pada pembangkitan minimum yang dikalikan dengan 0,866. Maka dari konsep tersebut syarat *setting* arus pada rele arus lebih atau *setting highset* dapat dirumuskan seperti persamaan 2.9 berikut.

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}} \quad (2.9)$$

Untuk *setting* pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh sebuah trafo, pengaturan *time delay* pada rele pengaman primer trafo kembali ke 0,1 detik, dengan syarat :  $I_{sc \text{ maksimum sekunder}} < I_{sc \text{ minimum primer}}$ . Dimana nilai  $I_{sc \text{ maksimal sekunder}}$  yaitu nilai gangguan maksimum tiga fasa pada sekunder trafo, dan untuk  $I_{sc \text{ minimal primer}}$  yaitu nilai gangguan minimum dua fasa pada primer trafo. Hal ini dilakukan untuk menghindari besarnya arus hubung singkat minimum dua fasa jika ada gangguan pada sisi primer trafo.

Untuk operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber harus disetel untuk dapat bekerja pada waktu yang sesingkat mungkin.

*Setting* waktu kerja rele yang perlu dipertimbangkan yaitu kecepatan dan selektivitas kerja dari rele sehingga rele tidak salah operasi. Yang harus diketahui dari karakteristik rele untuk *setting* waktu yaitu harus di hitung arus hubung singkat maksimum yang terdiri dari arus hubung singkat tiga fasa, gangguan di paling dekat dengan pemutus tenaga atau di bus dan pembangkitan maksimum.

Waktu operasi dari rangkaian pengaman merupakan yaitu waktu yang diperlukan untuk rele mulai *pick-up* sampai kontak pemutus tenaga

terbuka. Berdasar IEEE STD 242 waktu operasi rangkaian pengaman untuk rele statik adalah :

Waktu terbuka pemutus tenaga : 0,04 – 0,1 det (2-5 Cycle)

*Overtravel* dari rele : 0,1 detik.

Toleransi rele dan eror *setting* : 0,12 – 0,22 detik.

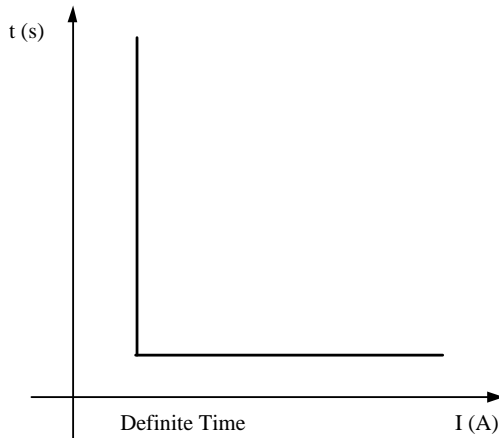
Total interval waktu rele : 0,32 detik.

Untuk rele digital berbasis *microprosesor*, besaran waktu sama seperti rele statik kecuali *overtravel time* dari rele yang dapat diabaikan atau bernilai 0 dengan total interval waktu rele sebesar 0,22 detik. Sehingga total waktu interval untuk rele biasanya digunakan = 0,2 - 0,4 [8].

Ada beberapa macam karakteristik rele arus lebih seperti karakteristik *inverse*, *setting* waktunya ditentukan pada saat arus gangguan maksimum. Karakteristik waktu rele arus lebih dapat dibedakan dalam beberapa jenis antara lain sebagai berikut.

#### **2.4.1.1. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite)**

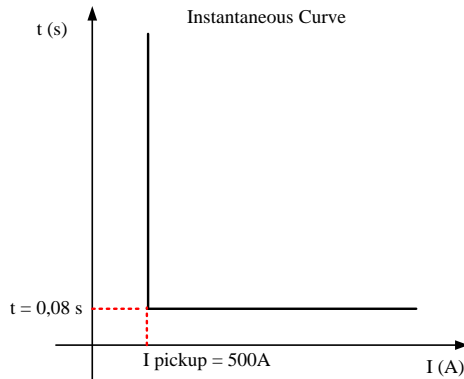
Rele arus lebih waktu tertentu melakukan pengaturan waktu operasi yang bervariasi berdasarkan level arus yang berbeda. Prinsip kerja rele ini adalah dengan mengatur rele dengan waktu tertentu saat mendapat arus tertentu sehingga pemutus tenaga yang paling dekat dengan sumber gangguan akan segera bekerja (*trip*) lebih cepat daripada yang lain dan pengaman lainnya akan *trip* setelah waktu tunda (*time delay*) yang diberikan ketika gangguan masih terus berlanjut. Pada rele arus lebih waktu tertentu, semua level arus yang melebihi *pick-up set point*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Pada gambar 2.8 menunjukkan karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.



**Gambar 2.8** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite time relay*)

#### 2.4.1.2. *Rele Arus Lebih Waktu Seketika (Instantaneous)*

Rele ini bekerja seketika ketika terjadi gangguan (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting* yang ada pada rele maka rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik sehingga rele arus lebih seketika memiliki prinsip kerja rele yang dapat di bilang tanpa penundaan waktu. Karakteristik rele arus lebih seketika memiliki waktu operasi  $0,5 \text{ cycle}$  sampai  $2 \text{ cycle}$  atau antara  $0,01\text{-}0,04$  detik [8]. Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain. Gambar 2.9 menunjukkan karakteristik rele arus lebih waktu seketika.



**Gambar 2.9** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

#### 2.4.1.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (Inverse) [8]

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (inverse time), makin besar arus makin kecil waktu untuk rele memberikan sinyal agar pemutus tenaga membuka. Semakin kecil arus gangguan, maka waktu rele untuk mengirimkan sinyal ke pemutus tenaga akan semakin lama begitu pula sebaliknya. Pada masing-masing *merk* rele mempunyai jenis kurva karakteristik yang berbeda-beda namun pada umumnya ada lima jenis karakterististik rele *inverse* yaitu *long time inverse*, *standart inverse*, *very inverse*, *short time invers* dan *extremely inverse*. Berikut penjelasannya.

##### a. Long Time Inverse

Karakteristik jenis *long time* memiliki waktu kerja yang cukup lama pada *setting* arus yang sama. Biasanya karakteristik ini digunakan untuk pengaman tahanan pentanahan trafo dan cadangan pengaman gangguan tanah.

##### b. Normal Inverse

Karakteristik ini digunakan sebagai kerakteristik standar untuk koordinasi antar rele.

c. *Very Inverse*

Karakteristik *very inverse* memiliki kurva lebih curam dibanding kurva inverse. Karakteristik ini digunakan untuk koordinasi rele dengan perbedaan kapasitas arus gangguan di antara lokasi rele.

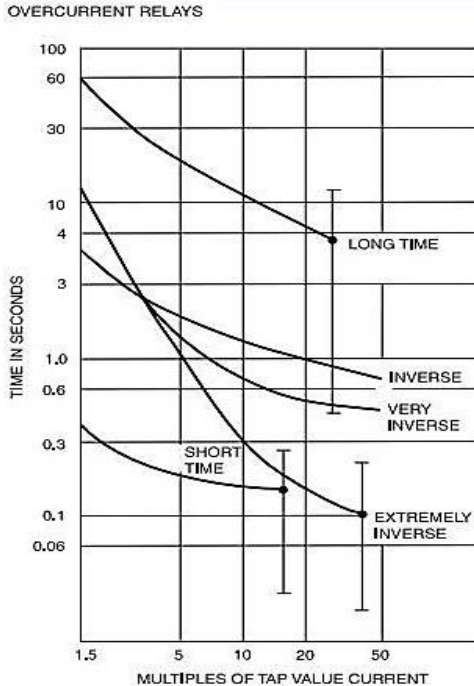
d. *Short Time Inverse*

Karakteristik *short time* memiliki waktu trip yang sangat cepat, sehingga digunakan sistem yang membutuhkan waktu pemutus gangguan sangat cepat tanpa koordinasi dengan rele lain.

e. *Extremely Inverse*

Karakteristik ini lebih curam dibandingkan karakteristik *very invers*, digunakan untuk koordinasi dengan fuse di sisi bawah rele.

Untuk kurva karakteristiknya bisa dilihat seperti pada gambar 2.10.



**Gambar 2.80** Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih *Inverse* berdasarkan IEEE 242-2001 [4]

Untuk menghitung besar waktu tunda pada masing-masing karakteristik rele berdasar Standart IEC adalah seperti persamaan 2.10, 2.11, 2.12 dan 2.13 sebagai berikut.

**a. Very inverse**

$$t = \frac{13,5}{I - 1} \cdot T_d \quad (2.10)$$

**b. Standard inverse**

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \cdot T_d \quad (2.11)$$

**c. Extremely inverse**

$$t = \frac{80}{(I^2 - 1)} \cdot T_d \quad (2.12)$$

**d. Long Time inverse**

$$t = \frac{120}{(I - 1)} \cdot T_d \quad (2.13)$$

dimana :

$$I = \frac{I_f}{I_{set}}$$

$I_f$  = arus hubung singkat maksimum

$I_{set}$  = arus *setting* aktual rele

$T_d$  = *setting time dial*

$t$  = *setting time delay* yang diinginkan

**2.4.2. Rele Gangguan ke Tanah (*Ground Fault Relay*)**

Gangguan ke tanah pada sistem kelistrikan ada tiga jenis yaitu gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah. Rele gangguan ke tanah (*ground fault relay*) merupakan pengaman arus lebih yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter*. Rele gangguan ke tanah dapat digunakan pada sistem yang mampu membatasi arus gangguan ke tanah. Misalnya sistem dengan pentanahan

resistansi yang mempunyai impedansi rendah mampu mengurangi arus gangguan ke tanah atau pada sistem tegangan rendah.

Ada beberapa versi perhitungan rele arus gangguan ke tanah antara lain 20%-80% dari rating arus hubung singkat fasa ke tanah, 10%-40% dari rating arus hubung singkat fasa ke tanah [9], dan referensi lain menggunakan 10%-50% dari rating arus hubung singkat fasa ke tanah[4].

Hal yang harus dipertimbangkan pada setting koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah ini adalah :

- a. Arus urutan nol akan terisolasi pada trafo belitan *delta*
- b. Arus urutan nol akan mengalir dari sumber gangguan trafo pada belitan *wye*

Untuk mengamankan gangguan fasa ke tanah jika sistem pentanahannya menggunakan *solid grounded* maka arus dapat dibaca oleh rele fasa, karena arus hubung singkat fasa ke tanah sangat besar dan hampir sama dengan arus hubung singkat tiga fasa. Sedangkan jika sistem pentanahan menggunakan NGR untuk membatasi arus gangguan ke tanah maka perlu adanya *ground fault relay* (GFR) untuk melakukan *sensing* arus karena arus yang muncul sangat kecil dan biasanya sebesar nilai arus NGR yang ada. CT yang digunakan pada GFR ini berbeda dengan CT yang digunakan pada rele fasa, CT pada GFR ini di sebut dengan *zero CT*, yaitu CT yang berfungsi hanya merasakan arus gangguan ke tanah saja. *Zero CT* biasanya besarnya sekitar setengah dari NGR. Pemasangan *zero CT* langsung melingkupi ketiga fasa dengan ada bagian yang diketanahkan. Cara kerja *zero CT* ini adalah dengan melakukan *sensing* pada arus urutan nol saja.

Selain menggunakan *zero CT* rele gangguan ke tanah ini bisa juga menggunakan residual CT yang cara kerjanya seperti CT yang biasanya digunakan pada rele fasa. Cara kerja residual CT dapat dilihat pada persamaan 2.14 berikut.

$$I_r = I_A + I_B + I_C \quad (2.14)$$

$I_r$  merupakan arus residu hasil penjumlahan vektor dari masing-masing arus fasa yaitu dari  $I_A$ ,  $I_B$ , dan  $I_C$ . Kemudian arus residu ini diatur dalam nilai tertentu, sehingga apabila terjadi gangguan maka nilai arus yang mengalir akan lebih besar dari nilai  $I_r$  akan mengakibatkan rele bekerja.

## 2.5. *Insulating Transformer*

*Insulating transformer* sebenarnya sama dengan trafo pada umumnya, hal yang membedakan trafo ini dengan trafo pada umumnya adalah kegunaan utama trafo ini bukan untuk mengubah level tegangan, namun hanya untuk melindungi atau memisahkan bagian primer dan sekunder trafo. Biasanya *insulating transformer* diberi hubungan belitan *delta-wye* agar jika terjadi gangguan fasa ke tanah pada salah satu sisi trafo sisi lain tidak akan terpengaruh karena arus hubung singkat terisolir pada hubungan *delta* trafo.

Selain itu, *insulating transformer* juga dapat memberikan impedansi tambahan pada sistem sehingga dapat digunakan untuk memfilter tegangan dan arus yang terlalu besar karena adanya gelombang yang terdistorsi yang dapat memperbesar amplitudo gelombang yang dapat menyebabkan tercapainya arus hubung singkat pada waktu yang tidak seharusnya. Distorsi gelombang ini merupakan *impuls* dengan durasi yang sangat pendek sekitar beberapa mikrodetik sampai beberapa milidetik, walau demikian pencapaian amplitudonya dapat mencapai ratusan bahkan ribuan volt. *Insulated transformer* dapat meredam besaran gelombang yang terdistorsi mencapai batas yang ditoleransi. Trafo ini mempunyai rasio 1:1 sehingga besaran tegangan input dan outputnya sama. Dengan konstruksi yang ada pada trafo, sebagian besar *noise* elektrik dapat diamankan oleh trafo dengan baik[10]. Karena fungsinya sebagai pelindung peralatan bagian bawah, maka *insulated transformer* biasanya ditempatkan tepat dibawah sumber dan diatas *incoming* peralatan atau di bagian lain yang ingin dipisahkan karena jika bagian tersebut tersambung akan menjadi masalah pada sistem.

Selain untuk melindungi peralatan, *insulated transformer* biasanya juga digunakan untuk memperbaiki koordinasi *ground fault*. Hal ini dapat terjadi dalam beberapa kasus tertentu, misalnya sebuah pabrik yang langsung terhubung dengan gardu induk PLN dimana *setting* waktu rele terlampaui kecil dan tidak dapat dirubah oleh pihak pabrik, sehingga waktu tunda peralatan akan terlalu berdekatan dan timbulnya *trip* serentak pada pabrik. Dengan digunakannya *insulating transformer* maka *setting* waktu tunda peralatan bisa sampai *setting* yang sesuai dan diinginkan karena pada belitan primer dapat dimulai *setting* waktu yang baru. Seperti ketentuan *setting* waktu pada trafo dimana pengaturan *time delay* pada rele pengaman primer trafo kembali ke 0,1 detik atau waktu tunda baru yang diinginkan, dengan syarat :  $I_{sc \text{ maksimum sekunder}} < I_{sc \text{ minimum primer}}$ . Dimana nilai  $I_{sc}$  maksimal sekunder yaitu nilai gangguan



maksimum tiga fasa pada sekunder trafo, dan untuk  $I_{SC \text{ minimal primer}}$  yaitu nilai gangguan minimum dua fasa pada primer trafo. Hal ini dilakukan untuk menghindari besarnya arus hubung singkat minimum dua fasa jika ada gangguan pada sisi primer trafo.

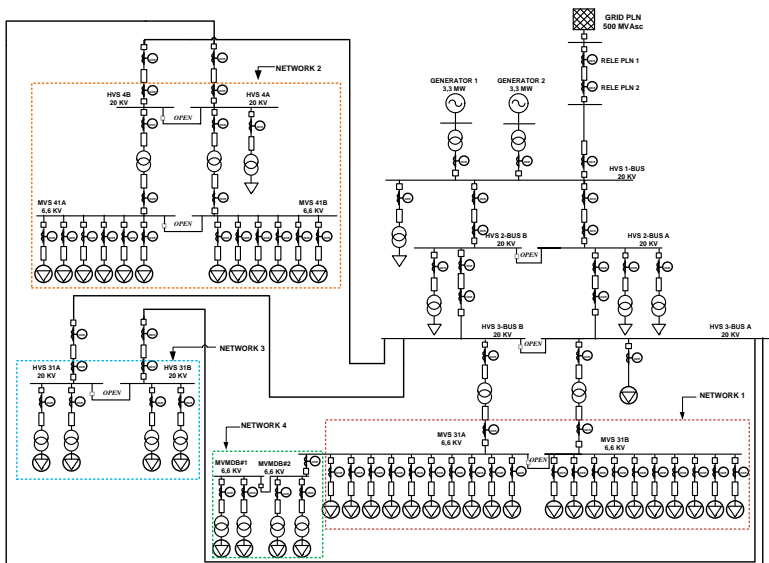
# BAB III

## SISTEM KELISTRIKAN

### PT. TERMINAL TELUK LAMONG

#### 3.1. Sistem Kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong

Dalam bab ini akan di lakukan pembahasan mengenai data kelistrikan yang ada pada PT. Terminal Teluk Lamong. Data kelistrikan yang di maksud adalah *single line diagram existing*, data spesifikasi peralatan seperti generator, transformator dan beban-beban lainnya yang terpasang pada sistem. Adapun *single line diagram* sistem kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong dapat dilihat pada gambar 3.1. Untuk gambar lebih jelas dapat dilihat pada lampiran.



**Gambar 3.1** *Single Line Diagram* PT. Terminal Teluk Lamong

### 3.2. Kapasitas Pembangkitan PT. Terminal Teluk Lamong

Selain mendapatkan sumber listrik dari PLN sebesar 16MVA, PT. Terminal Teluk Lamong memiliki beberapa generator seperti yang ada pada tabel 3.1 yang berguna untuk memberikan kontinuitas yang lebih baik pada sistem kelistrikan apabila terjadi gangguan dari sumber PLN.

**Tabel 3.1** Data Generator PT. Terminal Teluk Lamong

No	ID Generator	Kapasitas Pembangkitan	kV	% PF
1	Gen 1	3,3 MW	11	80
2	Gen 2	3,3 MW	11	80

### 3.3. Data Transformator PT. Terminal Teluk Lamong

Pada PT. Terminal Teluk Lamong mempunyai tiga level tegangan, yaitu tegangan tinggi sebesar 20kV, tegangan menengah sebesar 11kV dan 6,6 kV serta tegangan rendah sebesar 0,4 kV. Untuk merubah rating tegangan pada suatu sistem tentunya diperlukan adanya transformator. Pada tabel 3.2 berikut akan ditampilkan data transformator yang ada pada PT. Terminal Teluk Lamong.

**Tabel 3.2** Data Transformator di PT. Terminal Teluk Lamong

No	ID Trafo	Power Rating	kV
1	MVS-T1	4,7 MVA	11/20
2	MVS-T2	4,7 MVA	11/20
3	LVS11-T11	100 kVA	20/0,4
4	LVS21-T21	1 MVA	20/0,4
5	LVS22-T22	400 kVA	20/0,4
6	LVS23-T23	160 kVA	20/0,4
7	T3EMG-A1	2 MVA	20/0,4
8	T3EMG-A2	2 MVA	20/0,4
9	MVS31-T31A	7,5 MVA	20/6,6

**Tabel 3.2** Data Transformator di PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

No	ID Trafo	Power Rating	kV
10	MVS31-T31B	7,5 MVA	20/6,6
11	T311	2 MVA	20/0,4
12	LVS32-T32	315 kVA	20/0,4
13	MVS41-T41B	7,5 MVA	20/6,6
14	MVS41-T41A	7,5 MVA	20/6,6
15	LVS41-T42	400 kVA	20/0,4
16	LVS31A1-T34	1,6 MVA	20/0,4
17	LVS31A3-T36	800 kVA	20/0,4
18	LVS31B1-T37	1,6 MVA	20/0,4
19	LVS31B2-T38	1,6 MVA	20/0,4
20	MCC SS T-1	2,5 MVA	6,6/0,4
21	MCC SS T-2	250 kVA	6,6/0,4
22	MCC SS T-3	1 MVA	6,6/0,4
23	MCC SS T-4	250 kVA	6,6/0,4

### 3.4. Data Beban PT. Terminal Teluk Lamong

PT. Terminal Teluk Lamong memiliki dua jenis beban yaitu *static load* dan *lumped load*. Beban *static load* merupakan kantor, gerbang dan fasilitas umum. PT. Terminal Teluk Lamong juga memberikan *supplay* daya listrik pada industri kecil disekitarnya dan di sebut dengan *Load Industri* pada sistem. Pada sistem terdapat beban AST yang merupakan *craine* yang ada pada *Container Yard*. Pada dermaga PT. Terminal Teluk Lamong terdapat beberapa *crane* yang melayani pelayanan kapal domestik dan internasional. STS dengan daya 1500kVA merupakan *craine* yang melayani bongkar muat internasional, sedangkan STS dengan daya 1000kVA merupakan *craine* yang melayani bongkar muat domestik. Sedangkan GSU merupakan *Grap Ship Unloader* yang berjumlah dua buah, masing – masing satu buah

untuk domestik dan internasional. Pada tabel 3.3 berikut akan ditampilkan data beban yang ada pada PT. Terminal Teluk Lamong.

**Tabel 3.3** Data Static Load dan Lumped Load pada PT. Terminal Teluk Lamong

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Tegangan (kV)	Rating Daya (kVA)	Jumlah (unit)
1	LVS-11	Static Load	0,4	80	1
2	LVS-21	Static Load	0,4	800	1
3	LVS-22	Static Load	0,4	320	1
4	LVS-23	Static Load	0,4	128	1
5	LVS310	Static Load	0,4	1600	1
6	LVS32	Static Load	0,4	252	1
7	Load Industri	Lumped Load	20	8400	1
8	ASC	Lumped Load	6,6	375	20
9	GSU	Lumped Load	6,6	2000	2
10	STS	Lumped Load	6,6	1500	5
11	STS	Lumped Load	6,6	1000	5
12	LVS31A1	Lumped Load	0,4	1280	1
13	LVS31A3	Lumped Load	0,4	640	1
14	LVS31B1	Lumped Load	0,4	1280	1
15	LVS31B2	Lumped Load	0,4	1280	1
16	MCC SS-1A	Lumped Load	0,4	1915	1
17	MCC SS-1B	Lumped Load	0,4	203	1
18	MCC SS-2A	Lumped Load	0,4	758	1
19	MCC SS-2B	Lumped Load	0,4	144	1

### 3.5. Data Kabel PT. Terminal Teluk Lamong

Pada tabel 3.4 berikut akan ditampilkan data kabel yang ada pada PT. Terminal Teluk Lamong.

**Tabel 3.4** Data Kabel pada PT. Terminal Teluk Lamong

No	ID Cable	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Tegangan (kV)	Panjang (m)	R (Ohm)	X (Ohm)
1	C-PLN2	300	20	2000	0,0799	0,0927
2	C-PLN	300	20	20	0,0799	0,0927
3	C-HVS1-LVS11	35	20	20	0,668	0,128
4	C-HVS1-HVS2B	300	20	2159	0,0799	0,0927
5	C-HVS1-HVS2A	300	20	2159	0,0799	0,0927
6	C-HVS2-LVS21	35	20	250	0,668	0,128
7	C-HVS2B-HVS3B	300	20	1900	0,0799	0,0927
8	C-HVS2A-HVS3A	300	20	1900	0,0799	0,0927
9	C-HVS2-LVS22	70	20	20	0,342	0,115
10	C-HVS2-LVS23	70	20	580	0,342	0,115
11	C-HVS3B-HVS4B	300	20	1040	0,0799	0,0927
12	C-HVS3B-HVS31B	95	20	535	0,247	0,109
13	C-HVS3B-T3EMG-A1	35	20	30	0,668	0,128
14	C-HVS3B-T3EMG-A2	35	20	25	0,668	0,128
15	C-HVS3B-MVS31B	185	20	20	0,128	0,0989
16	C-HVS3A-MVS31A	185	20	25	0,128	0,0989

**Tabel 3.4** Data Kabel pada PT. Terminal Teluk Lamong

No	ID Cable	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Tegangan (kV)	Panjang (m)	R (Ohm)	X (Ohm)
17	C-HVS3A-LVS310	70	20	20	0,342	0,115
18	C-HVS3A-LVS32	35	20	100	0,668	0,128
19	C-HVS3A-HVS31A	95	20	535	0,247	0,109
20	C-HVS3A-HVS4A	300	20	1040	0,0799	0,0927
21	C-T32-LVEMG1	400	0,4	100	0,0567	0,0899
22	C-T33-LVEMG2	400	0,4	100	0,0567	0,0899
23	C-GD2-LVEMG	400	0,4	100	0,0567	0,0899
24	C-GD1-LVEMG	400	0,4	100	0,0567	0,0899
25	C-MVS31A	300	6,6	20	80	84,7
26	C-MVS31B	300	6,6	20	80	84,7
27	C-MVS31-ASC#1	50	6,6	300	494	108
28	C-MVS31-ASC#2	50	6,6	300	494	108
29	C-MVS31-ASC#3	50	6,6	300	494	108
30	C-MVS31-ASC#4	50	6,6	300	494	108
31	C-MVS31-ASC#5	50	6,6	300	494	108
32	C-MVS31-ASC#6	50	6,6	300	494	108
33	C-MVS31-ASC#7	50	6,6	300	494	108
34	C-MVS31-ASC#8	50	6,6	300	494	108
35	C-MVS31-ASC#9	50	6,6	300	494	108

**Tabel 3.4** Data Kabel pada PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

No	ID Cable	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Tegangan (kV)	Panjang (m)	R (Ohm)	X (Ohm)
36	C-MVS31-ASC#10	50	6,6	300	494	108
37	C-HVS4B-MVS41B	185	20	20	0,128	0,0989
38	C-HVS4A-MVS41A	185	20	20	0,128	0,0989
39	C-HVS4A-LVS41	35	20	25	0,668	0,128
40	C-T41A-MVS41B	30	6,6	30	80	84,7
41	C-T41B-MVS41A	300	6,6	30	80	84,7
42	C-MVS41-GSU-CB1	50	6,6	300	494	108
43	C-MVS41-GSU-CB2	50	6,6	300	494	108
44	C-MVS41-CB1	50	6,6	300	494	108
45	C-MVS41-CB2	50	6,6	300	494	108
46	C-MVS41-CB3	50	6,6	300	494	108
47	C-MVS41-CB4	50	6,6	300	494	108
48	C-MVS41-CB5	50	6,6	300	494	108
49	C-MVS41-CB6	50	6,6	300	494	108
50	C-MVS41-CB7	50	6,6	300	494	108
51	C-MVS41-CB8	50	6,6	300	494	108
52	C-MVS41-CB9	50	6,6	300	494	108
53	C-MVS41-CB10	50	6,6	300	494	108



**Tabel 3.4** Data Kabel pada PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

No	ID Cable	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Tegangan (kV)	Panjang (m)	R (Ohm)	X (Ohm)
54	C-HVS31-LVS31A1	35	20	300	0,668	0,128
55	C-HVS31-LVS31A2	35	20	30	0,668	0,128
56	C-HVS31-LVS31B1	35	20	140	0,668	0,128
57	C-HVS31-LVS31B2	35	20	230	0,668	0,128

### 3.6. Data Rating Bus PT. Terminal Teluk Lamong

Tabel 3.5 merupakan data kemampuan bus utama dalam menahan arus hubung singkat yang terjadi. Nilai arus tersebut digunakan untuk menganalisa kemampuan bus menahan amplitudo maksimum atau *peak* arus hubung singkat.

**Tabel 3.5** Data *Rating* bus PT. Terminal Teluk Lamong

NO	ID BUS	Voltage (kV)	Existing	
			Sym Rms (kA)	Bracing Assym Peak (kA)
1	HVS1-Bus	20	8,663	19,973
2	HVS2-BusB	20	7,831	16,880
3	HVS2-BusA	20	8,155	18,205
4	HVS3-BusB	20	7,520	15,939
5	HVS3-BusA	20	7,967	17,805
6	MVS31A	6,6	8,841	20,678
7	MVS31B	6,6	8,184	19,760
8	HVS4B	20	7,307	15,303
9	HVS4A	20	7,743	17,064
10	MVS41A	6,6	10,174	23,605

**Tabel 3.5** Data *Rating* bus PT. Terminal Teluk Lamong (lanjutan)

NO	ID BUS	Voltage (kV)	<i>Existing</i>	
			<i>Sym Rms</i> (kA)	<i>Bracing Assym</i> <i>Peak</i> (kA)
11	MVS41B	6,6	11,383	27,091
12	HVS31A	20	7,124	14,093
13	HVS31B	20	7,547	15,539
14	MVMDB#1	6,6	8,841	20,678
15	MVMDB#2	6,6	8,841	20,678

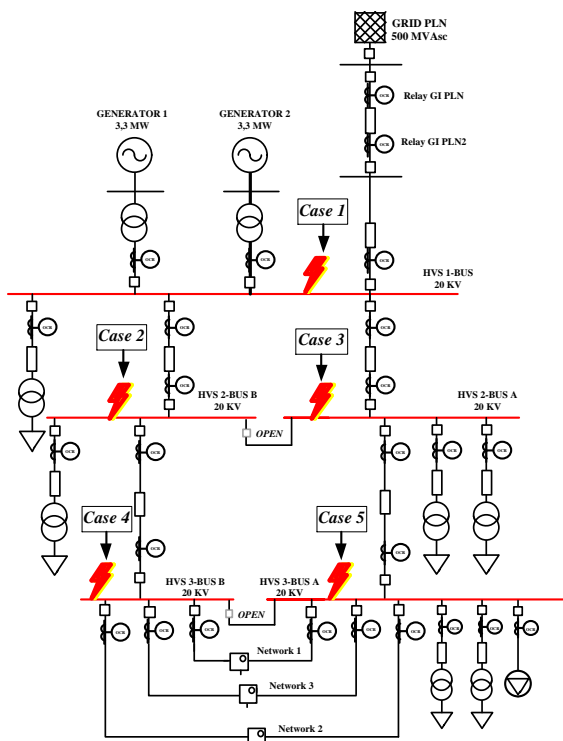
Tabel 3.5 menunjukkan nilai kapasitas simetri rms dan nilai kapasitas *assymmetry peak* arus hubung singkat pada masing-masing bus. Nilai tersebut digunakan sebagai acuan dalam menganalisa kondisi peralatan akibat arus hubung singkat yang terjadi pada masing-masing bus. Bila besarnya arus hubung singkat di sistem melebihi dari kapasitas bus maka perlu pengaman tambahan agar peralatan tidak rusak.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV SIMULASI DAN ANALISA

### 4.1 Analisa *Sequence of Operation*/ Koordinasi Rele Kondisi *Existing*

Analisa *sequence* dilakukan dengan melakukan simulasi hubung singkat pada beberapa bus utama di *plant* PT. Teluk Lamong kondisi *existing* dengan tujuan untuk mengetahui koordinasi rele arus lebih dan *ground*. Terdapat lima *case* hubung singkat, yaitu pada bus HVS1-Bus, HVS2-BusA, HVS2-BusB, HVS3-BusA dan HVS3-BusB seperti terlihat pada gambar 4.1. Pada gambar 4.2 sampai 4.11 akan dijelaskan mengenai kondisi koordinasi rele arus lebih dan *ground* pada kondisi *existing*.

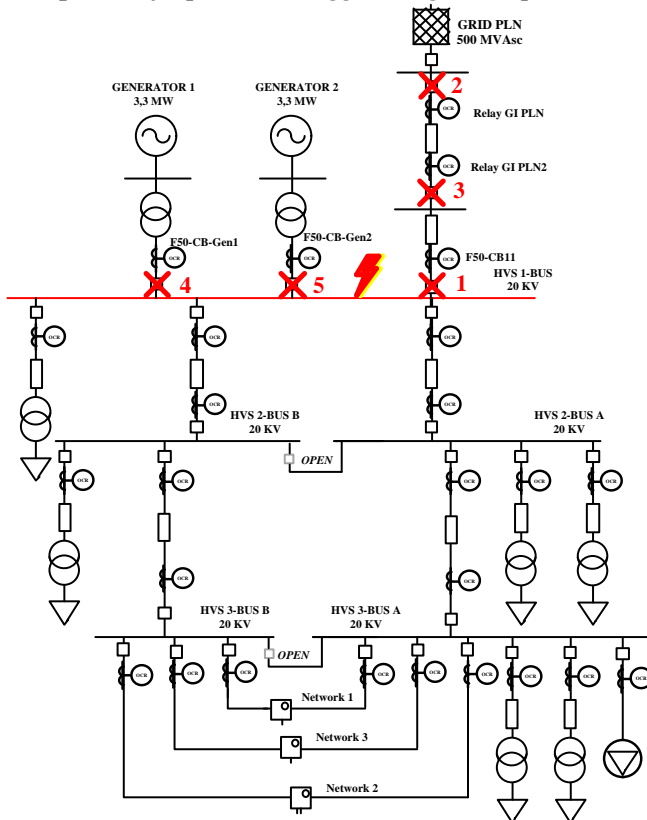


**Gambar 4.1** *Cases Sequences of Operation Existing*

#### 4.1.1 Case 1 (Sequence of operation pada bus HVS1-Bus)

Pada case 1 dilakukan hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat fasa ke tanah untuk mengetahui koordinasi rele pada keadaan *existing* apabila terjadi hubung singkat pada bus HVS1-Bus. Gambar 4.2 merupakan hasil *sequence of operation* hubung singkat tiga fasa dan gambar 4.3 merupakan hasil *sequence of operation* hubung singkat fasa ke tanah.

##### 4.1.1.1. Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa pada HVS1-Bus.



**Gambar 4.2** Sequence of Operation Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS1-Bus

Pada gambar 4.2 dapat di lihat urutan *trip* rele sudah benar namun waktu *trip* antar rele kurang tepat karena di luar *range* yang diizinkan (0,2 detik sampai 0,4 detik). Waktu *trip* rele hubung singkat tiga fasa bus HVS-1 Bus terlihat seperti pada tabel 4.1 berikut.

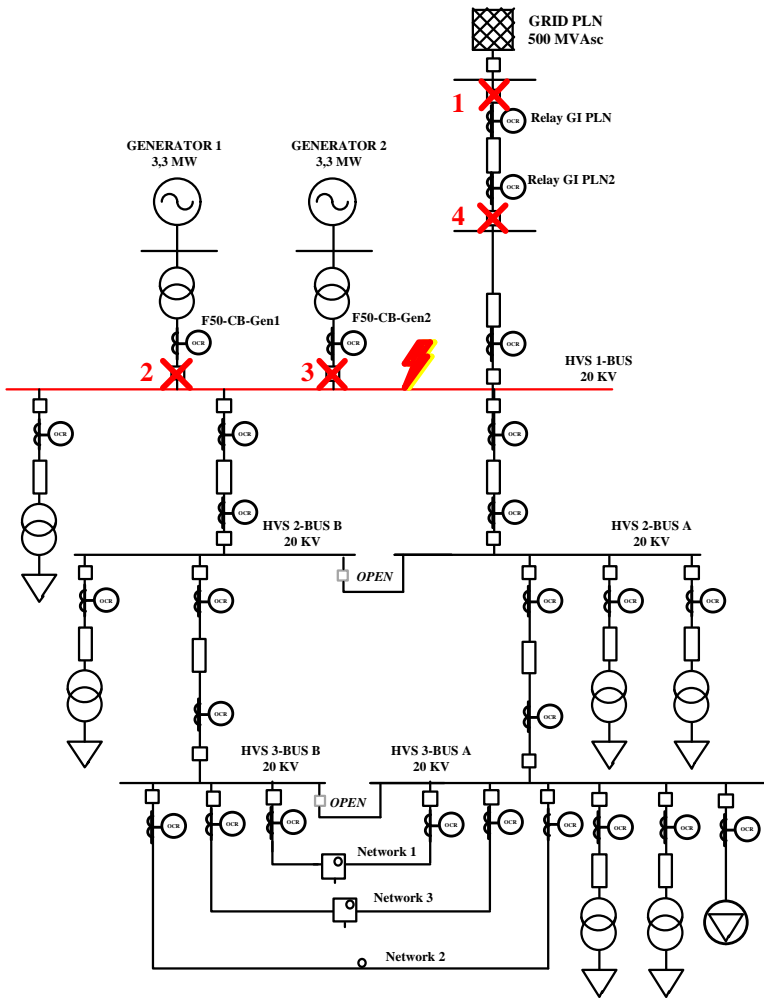
**Tabel 4.1** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Bus HVS-1 Bus

No	<i>Fault Type : Short Circuit 3 Phase (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	230	F50-CB11	12,571	<i>Phase - OCl – 50</i>
2	355	Relay GI PLN	12,571	<i>Phase - OCl – 51</i>
3	355	Relay GI PLN2	12,571	<i>Phase - OCl – 51</i>
4	5061	F50-CB-GEN1	0,349	<i>Phase - OCl – 51</i>
5	5061	F50-CB-GEN2	0,349	<i>Phase - OCl – 51</i>

Pada tabel 4.1 terlihat jika ada gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus HVS-1 Bus maka rele F50-CB11, Relay GI PLN, Relay GI PLN2, F50-CB-Gen1 dan F50-CB-Gen2 akan bekerja dengan urutan seperti yang terlihat pada tabel. Lima rele ini bekerja karena arus kontribusi hubung singkat dari bus HVS-1 Bus sudah mencapai arus gangguan yang memungkinkan terjadi operasi *trip* pada rele, sehingga CT pada lima rele di atas *sensing* dan rele menunggu instruksi untuk melakukan *open* CB sesuai arus yang di terima dan *setting* waktu pada masing-masing rele.

Urutan kerja rele pada *case* 1 sudah benar karena urutan kerja rele di mulai oleh rele yang paling dekat dengan gangguan (pada gambar rele di atas bus *fault* atau rele sisi sumber dari titik gangguan) yang pertama bekerja kemudian dilanjutkan dengan rele cadangan di atasnya menuju sisi sumber secara berurutan. Namun waktu tunda masih salah karena selisih waktu antara satu rele dengan rele lain berada di luar *range* waktu tunda yang seharusnya. Waktu pada Relay GI PLN dan Relay GI PLN2 tidak dapat di ubah oleh PT. Terminal Teluk Lamong karena kedua rele tersebut merupakan rele milik PT. PLN (Persero) sehingga perlu diadakan koordinasi ulang untuk rele-rele milik PT. Terminal Teluk Lamong agar urutan kerja dan waktu *trip* menjadi benar.

4.1.1.2. *Sequence of Operation Gangguan Fasa ke Tanah Pada HVS1-Bus.*



**Gambar 4.3** *Sequence of Operation Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS1-Bus*

Gambar 4.3 merupakan urutan *trip* CB gangguan fasa ke tanah pada *case* 1. Urutak kerja rele pada gambar dapat dikatakan masih salah karena rele F50-CB-11 tidak bekerja, ini dikarenakan kesalahan *setting* pada rele tersebut. Kesalahan terjadi karena *setting* arus gangguan minimum pada F50-CB11 terlalu besar (875 Ampere), sedangkan arus gangguan pada F50-CB11 hanya sebesar 23 Ampere seperti terlihat pada tabel 4.2 sehingga rele F50-CB11 tidak merasakan gangguan.

**Tabel 4.2** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Fasa ke Tanah pada Bus HVS-1 Bus

No	<i>Fault Type : Short Circuit Line - to - Ground (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	114	Relay GI PLN	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>
2	227	F50-CB-GEN1	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
3	227	F50-CB-GEN2	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
4	266	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>

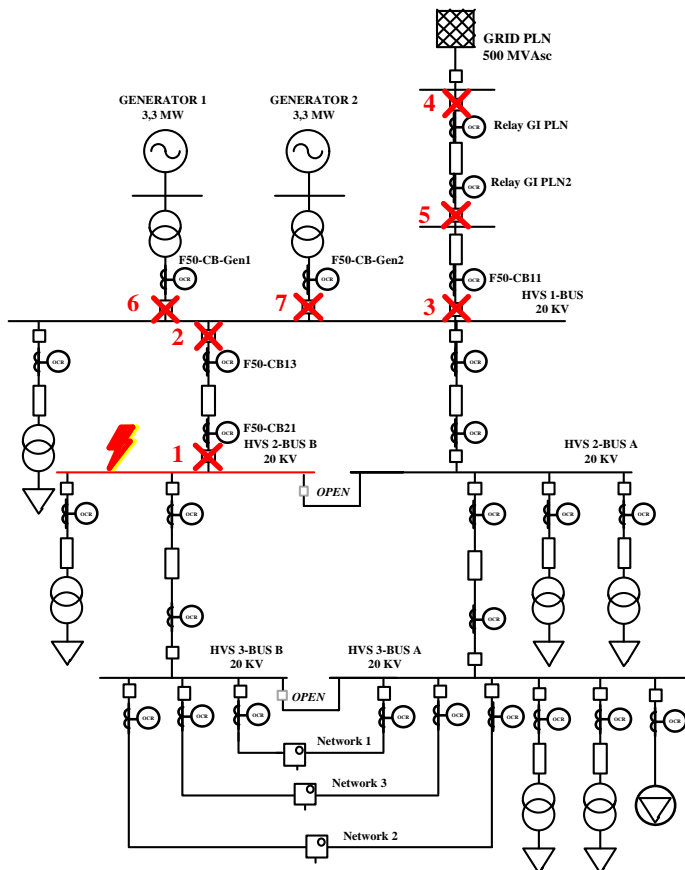
Waktu tunda antar rele berada di bawah *range* waktu yang seharusnya (0,2 detik sampai 0,4 detik) [8], sehingga terjadi *trip* secara bersamaan pada saat terjadi hubung singkat fasa ke tanah pada bus HVS1-Bus. Pada *case* 1 ini dapat di lihat kesalahan koordinasi terjadi baik pada koordinasi hubung singkat tiga fasa ataupun hubung singkat fasa ke tanah, sehingga perlu dilakukan *setting* ulang rele gangguan tiga fasa dan rele gangguan fasa ke tanah pada *case* 1 ini untuk menghindari adanya kesalahan koordinasi rele pada sistem

#### 4.1.2 *Case 2 (Sequence of operation pada bus HVS2-Bus B)*

Pada *case* 2 dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada bus HVS2-BusB. Terdapat dua simulasi yang dilakukan yaitu simulasi hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat fasa ke tanah. Gambar 4.4 menunjukkan *sequence of operation* gangguan tiga fasa pada bus HVS2-BusB dan gambar 4.5 menunjukkan *sequence of operation* gangguan fasa ke tanah pada bus HVS2-BusB.



#### 4.1.2.1. Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa Pada HVS2-BusB.



**Gambar 4.4** Sequence of Operation Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS2-BusB

Pada gambar 4.4 di atas terlihat urutan *trip* rele sudah benar karena semua rele bekerja berurutan dari titik gangguan menuju ke sumber. Pada hasil simulasi Relay PLN *trip* terlebih dahulu daripada Relay PLN2 yang seharusnya Relay PLN2 dulu yang *trip* karena urutan

*trip* yang benar adalah dari beban menuju ke sumber. Hal ini tidak dipermasalahkan karena *setting* arus gangguan minimum dan waktu *trip* pada kedua rele sama sehingga pada simulasi urutan kerja releurut berdasarkan abjad sehingga Relay PLN *trip* terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan Relay PLN2. Kesalahan pada *case* ini terjadi pada waktu tunda yang digunakan seperti terlihat pada tabel 4.3.

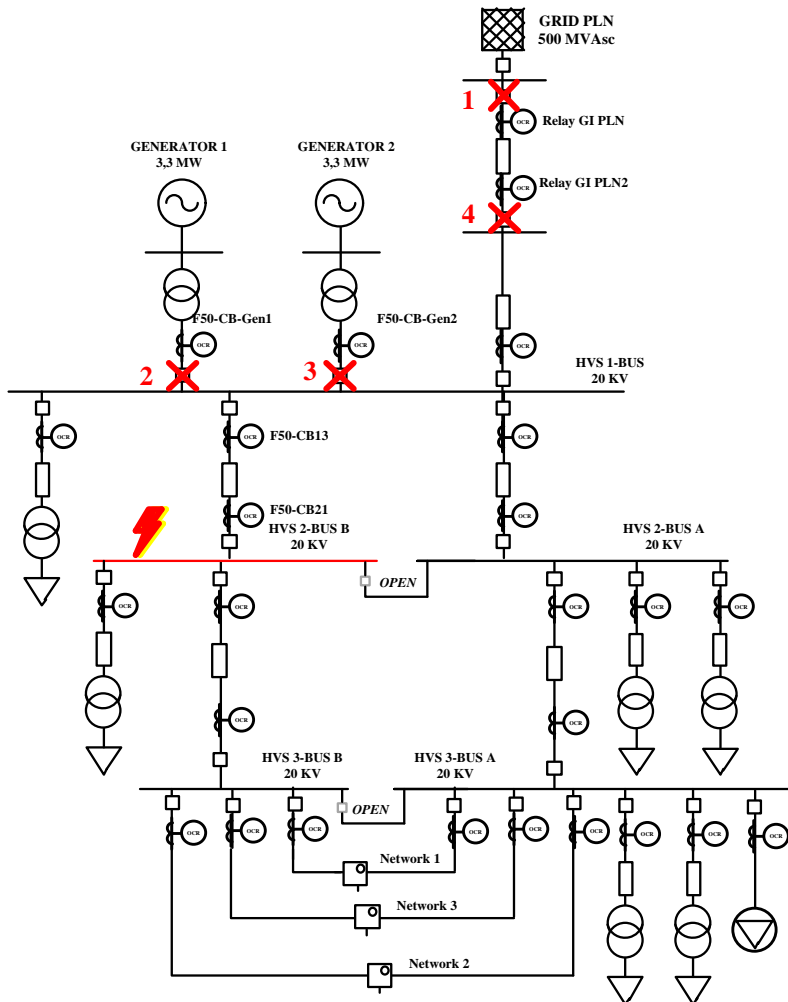
**Tabel 4.3** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Tiga Fasa pada Bus HVS2-BusB

No	<i>Fault Type : Short Circuit 3 Phase (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	190	F50-CB21	10,228	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	210	F50-CB13	10,228	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	230	F50-CB11	9,738	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	355	Relay GI PLN	9,738	<i>Phase - OC1 - 51</i>
5	355	Relay GI PLN2	9,738	<i>Phase - OC1 - 51</i>
6	60604	F50-CB-GEN1	0,270	<i>Phase - OC1 - 51</i>
7	60604	F50-CB-GEN2	0,270	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Pada tabel 4.3 dapat di lihat kesalahan terjadi pada selisih waktu tunda masing-masing rele di luar waktu tunda rele yang seharusnya (0,2 sampai 0,4 detik) [8].

#### **4.1.2.2. *Sequence of Operation Gangguan Fasa ke Tanah pada HVS2-BusB.***

Pada kasus ini akan dilakukan hubung singkat 30 *cycle* fasa ke tanah pada bus HVS2-BusB untuk mengetahui koordinasi rele *overcurrent* fasa ke tanah apabila terjadi gangguan pada bus tersebut. Gambar 4.5 akan menunjukkan hasil urutan kerja rele fasa ke tanah apabila terjadi gangguan pada bus HVS2-BusB. Sedangkan untuk melihat waktu kerja rele, arus gangguan yang dirasakan oleh rele dan juga kondisi *trip* rele dapat di lihat pada tabel 4.5.



**Gambar 4.5** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS2-BusB

Pada gambar 4.5 di atas dapat di lihat urutan koordinasi rele fasa ke tanah yang *trip* ketika terjadi gangguan fasa ke tanah pada HVS2-BusB. Koordinasi rele pada gambar 4.5 masih kurang tepat karena jika terjadi gangguan pada HVS2-BusB rele pertama yang *trip* seharusnya rele yang paling dekat dari sumber gangguan (pada gambar merupakan rele F50-CB21) kemudian di susul dengan F50-CB13. Namun rele yang *trip* langsung di mulai dari Relay GI PLN yang kemudian dalam waktu 0,13 detik di susul langsung dengan matinya rele generator, hal ini membuat semua sistem kelistrikan pabrik mati total ketika terjadi gangguan fasa ke tanah pada HVS2-BusB. Kesalahan koordinasi ini terjadi karena kesalahan *setting* rele dan adanya Relay GI PLN yang tidak dapat di ubah *setting* waktunya oleh pihak PT. Terminal Teluk Lamong yang akan langsung *trip* pada waktu 0,114 detik ketika terjadi gangguan pada HVS2-BusB sehingga jika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah rele tersebut akan bekerja paling awal. Pada tabel 4.4 berikut akan dijelaskan mengenai kondisi *trip*existing jika terjadi gangguan fasa ke tanah di HVS2-BusB.

**Tabel 4.4** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Fasa ke Tanah pada Bus HVS2-BusB

No	<i>Fault Type : Short Circuit Line - to - Ground (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	114	Relay GI PLN	0,023	<i>Ground - OC1 – 51</i>
2	227	F50-CB-GEN1	0,197	<i>Ground - OC1 – 51</i>
3	227	F50-CB-GEN2	0,197	<i>Ground - OC1 – 51</i>
4	267	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 – 51</i>

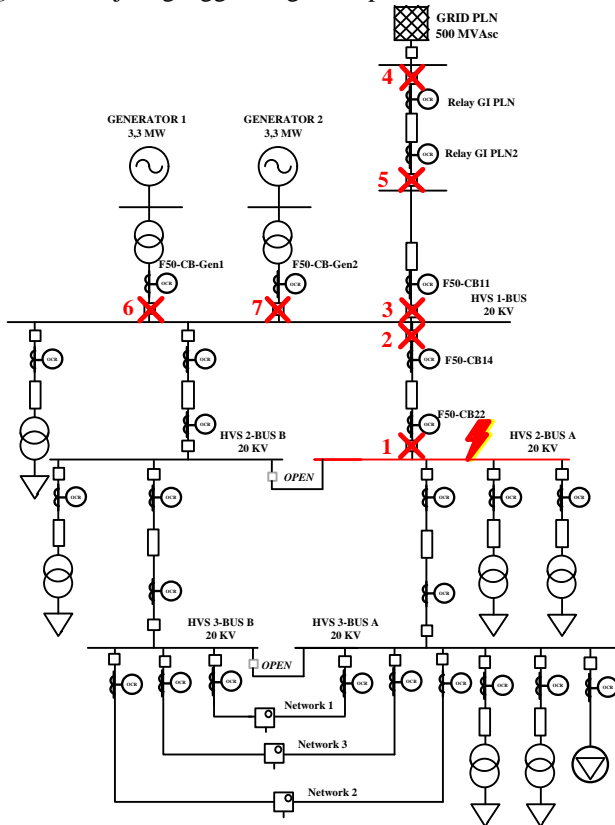
Pada tabel di atas terlihat kesalahan terjadi pada selisih waktu tunda antar rele yang kurang dari batas waktu tunda yang seharusnya (0,2 detik sampai 0,4 detik) sehingga rele-rele di atas dapat dikatakan bekerja secara bersamaan. Hal ini dikarenakan *setting* waktu rele yang kurang benar. Dari hasil simulasi hubung singkat tiga fasa dan fasa ke tanah pada HVS2-BusB dapat dikatakan *setting* rele untuk melindungi gangguan hubung singkat pada bus ini masih kurang benar.

#### 4.1.3 Case 3 (Sequence of operation pada bus HVS2-Bus A)

Pada case 3 dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada bus HVS2-BusA. Terdapat dua simulasi yang dilakukan yaitu simulasi hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat fasa ke tanah.

##### 4.1.3.1. Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa pada HVS2-BusA.

Gambar 4.6 merupakan hasil koordinasi rele pada keadaan *existing* ketika terjadi gangguan tiga fasa pada HVS2-BusA.



**Gambar 4.6** Sequence of Operation Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS2-BusA

Pada gambar 4.6 di atas terlihat urutan *trip* rele sudah benar karena semua rele bekerja berurutan dari titik gangguan menuju ke sumber. Pada hasil simulasi Relay PLN *trip* terlebih dahulu daripada Relay PLN2 yang seharusnya Relay PLN2 dulu yang *trip* karena urutan *trip* yang benar adalah dari titik gangguan menuju ke sumber. Hal ini tidak dipermasalahkan karena *setting* arus gangguan minimum dan waktu *trip* pada kedua rele sama sehingga pada simulasi urutan kerja rele urut berdasarkan abjad dimana Relay PLN *trip* terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan Relay PLN2. Kesalahan pada *case* ini terjadi pada waktu tunda yang digunakan seperti terlihat pada tabel 4.5.

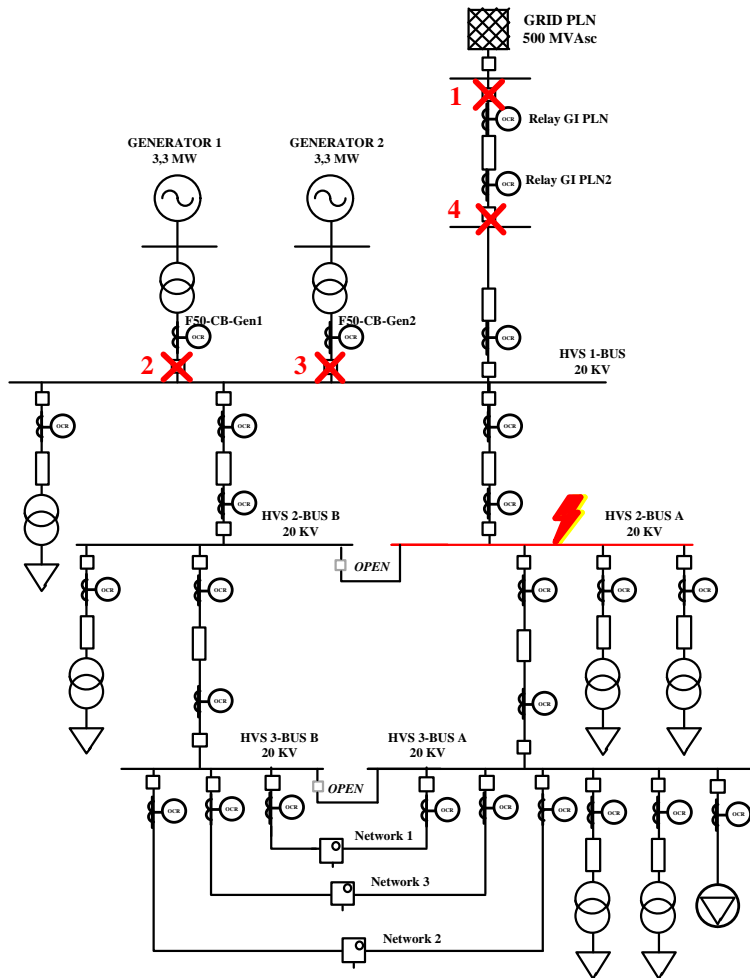
**Tabel 4.5** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Tiga Fasa pada Bus HVS2-BusA

No	<i>Fault Type : Short Circuit 3 Phase (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	190	F50-CB22	10,228	<i>Phase - OC1 – 50</i>
2	210	F50-CB14	10,228	<i>Phase - OC1 – 50</i>
3	230	F50-CB11	9,738	<i>Phase - OC1 – 50</i>
4	355	Relay GI PLN	9,738	<i>Phase - OC1 – 51</i>
5	355	Relay GI PLN2	9,738	<i>Phase - OC1 – 51</i>
6	60604	F50-CB-GEN1	0,270	<i>Phase - OC1 – 51</i>
7	60604	F50-CB-GEN2	0,270	<i>Phase - OC1 – 51</i>

Pada tabel 4.5 dapat di lihat kesalahan terjadi pada selisih waktu tunda antar rele di luar *range* waktu tunda rele yang seharusnya (0,2 sampai 0,4 detik)[8].

#### **4.1.3.2. *Sequence of Operation Gangguan Fasa ke Tanah pada HVS2-BusA.***

Pada kasus kali ini akan dilakukan hubung singkat 30cycle fasa ke tanah pada bus HVS2-BusA untuk mengetahui koordinasi rele *overcurrent* fasa ke tanah apabila terjadi gangguan pada bus tersebut. Gambar 4.7 akan menunjukkan hasil urutan kerja rele fasa ke tanah apabila terjadi gangguan pada bus HVS2-BusA.



**Gambar 4.7** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS2-BusA

Pada gambar 4.7 di atas dapat di lihat urutan koordinasi rele fasa ke tanah yang *trip* ketika terjadi gangguan fasa ke tanah pada Bus HVS2-BusA. Koordinasi rele pada gambar 4.7 dapat dikatakan juga

masih kurang tepat karena jika terjadi gangguan pada HVS2-BusA rele pertama yang *trip* seharusnya rele yang paling dekat dari sumber gangguan yang pada gambar merupakan rele F50-CB22 kemudian di susul dengan F50-CB14. Namun rele yang *trip* langsung di mulai dari Relay GI PLN yang kemudian dalam waktu 0,13 detik rele generator juga *trip* hal ini membuat semua sistim kelistrikan pabrik mati total ketika terjadi gangguan fasa ke tanah pada HVS2-BusA. Sama seperti pada *case 3*, kesalahan koordinasi ini terjadi karena kesalahan *setting* rele dan adanya Relay GI PLN yang tidak dapat di ubah *setting* waktunya oleh pihak PT. Terminal Teluk Lamong yang akan langsung *trip* pada waktu 0,114 detik ketika terjadi gangguan pada HVS2-BusA sehingga jika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah rele tersebut akan bekerja paling awal. Pada tabel 4.6 menunjukkan kondisi *trip existing* jika terjadi gangguan fasa ke tanah di HVS2-BusA.

**Tabel 4.6** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Fasa ke Tanah pada Bus HVS2-BusA

No	<i>Fault Type : Short Circuit Line - to - Ground (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	114	Relay GI PLN	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>
2	227	F50-CB-GEN1	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
3	227	F50-CB-GEN2	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
4	267	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>

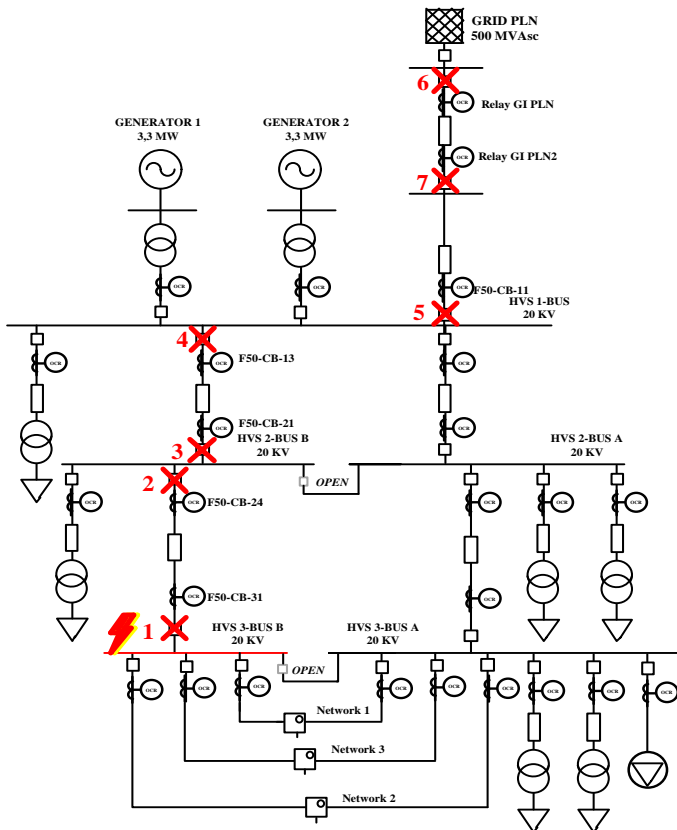
Pada tabel 4.6 terlihat kesalahan waktu tunda masih terjadi pada selisih waktu tunda antar rele yang kurang dari batas waktu tunda yang seharusnya (0,2 detik sampai 0,4 detik) sehingga rele-rele di atas dapat dikatakan bekerja secara bersamaan. Hal ini dikarenakan *setting* waktu rele yang kurang benar. Dari hasil simulasi hubung singkat tiga fasa dan fasa ke tanah pada HVS2-BusA dapat dikatakan *setting* rele untuk melindungi gangguan hubung singkat pada bus ini masih kurang benar.



#### 4.1.4 Case 4 (Sequence of operation pada bus HVS3-Bus B)

Pada case 4 dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada bus HVS3-BusB. Terdapat dua simulasi yang dilakukan yaitu simulasi hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat fasa ke tanah. Gambar 4.8 menunjukkan hasil simulasi koordinasi rele gangguan tiga fasa pada HVS3-BusB.

##### 4.1.4.1. Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa pada HVS3-BusB.



**Gambar 4.8** Sequence of Operation Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS3-BusB

Pada gambar 4.8 di atas ditampilkan hasil simulasi koordinasi rele jika terjadi gangguan tiga fasa 30 *cycle* pada HVS3-BusB. Hasil urutan koordinasi *trip* rele sudah benar namun jika di lihat pada tabel 4.7 di bawah ini akan terlihat kesalahan koordinasi rele yaitu pada *setting* waktu tunda rele.

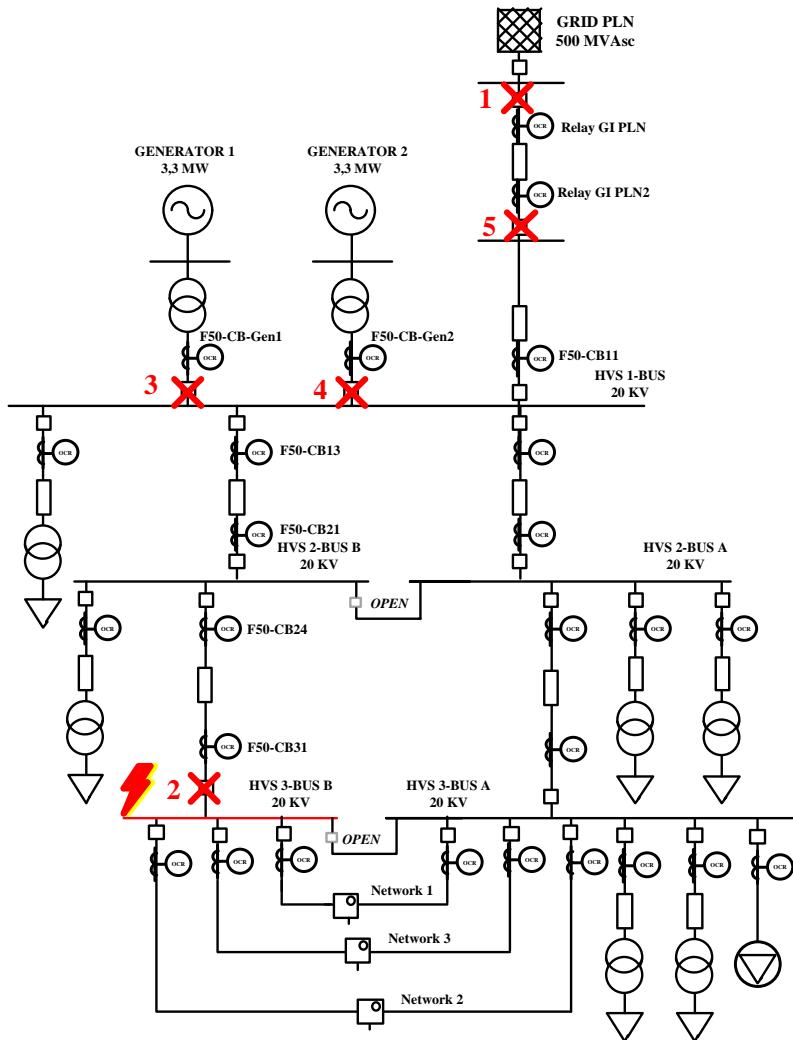
**Tabel 4.7** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Tiga Fasa pada Bus HVS3-BusB

No	<i>Fault Type : Short Circuit 3 Phase (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	150	F50-CB31	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	170	F50-CB24	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	190	F50-CB21	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	210	F50-CB13	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	230	F50-CB11	8,856	<i>Phase - OC1 - 50</i>
6	372	Relay GI PLN	8,856	<i>Phase - OC1 - 51</i>
7	372	Relay GI PLN2	8,856	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Pada tabel 4.7 dapat di lihat kesalahan terjadi pada selisih waktu tunda masing-masing rele berada di bawah waktu tunda rele yang seharusnya (0,2 sampai 0,4 detik) sehingga dapat dikatakan semua rele yang aktif pada saat terjadi gangguan di HVS3-BusB akan *trip* secara bersama-sama dan ini artinya hampir tidak ada rele *backup* pada sistem sehingga sistem bagian kiri akan seketika mati total dan sistem sebelah kanan masih dapat beroperasi dengan menerima aliran daya dari generator.

#### **4.1.4.2. Sequence of Operation Gangguan Fasa ke Tanah pada HVS3-BusB.**

Pada kasus ini akan dilakukan hubung singkat 30 *cycle* fasa ke tanah pada bus HVS3-BusB untuk mengetahui koordinasi rele *overcurrent* fasa ke tanah apabila terjadi gangguan pada bus tersebut. Gambar 4.9 menunjukkan hasil urutan kerja rele fasa ke tanah apabila terjadi gangguan pada bus HVS3-BusB.



**Gambar 4.9** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS3-BusB

Pada gambar 4.9 terlihat urutan koordinasi rele fasa ke tanah yang *trip* ketika terjadi gangguan fasa ke tanah masih salah. Hal ini disebabkan ketika terjadi hubung singkat fasa ke tanah pada HVS3-BusB, rele pertama yang bekerja merupakan Relay GI PLN di susul dengan aktifnya rele generator kurang dari 0,1 detik seperti pada tabel 4.8 sehingga ketika terjadi hubung singkat fasa ke tanah sistem kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong akan mati total.

**Tabel 4.8** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Fasa ke Tanah pada Bus HVS3-BusB

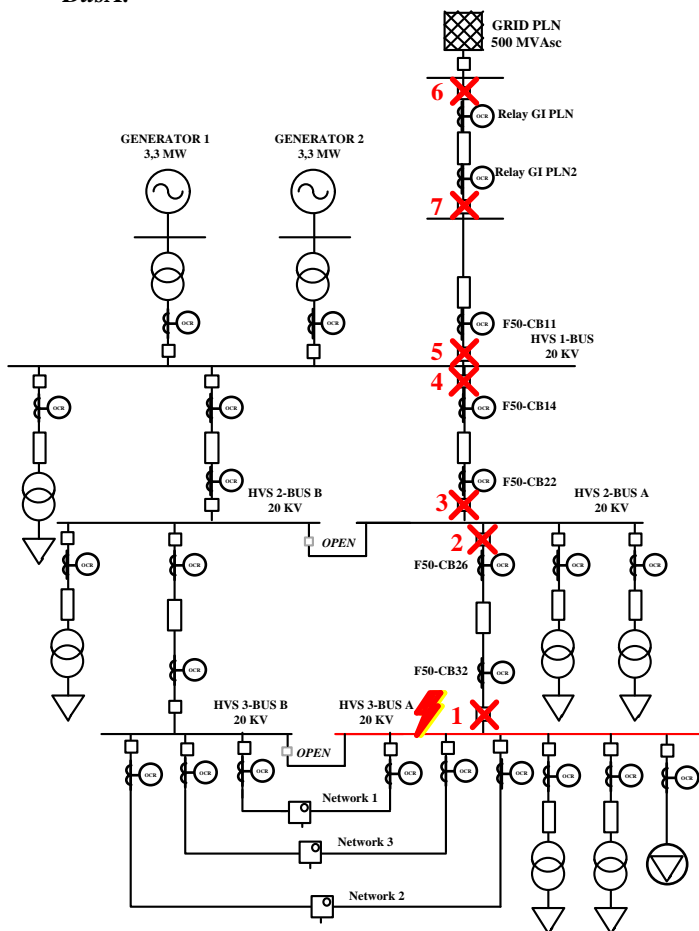
No	<i>Fault Type : Short Circuit Line - to - Ground (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	114	Relay GI PLN	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>
2	150	F50-CB31	0,401	<i>Ground - OC1 - 51</i>
3	227	F50-CB-GEN1	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
4	227	F50-CB-GEN2	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
5	267	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>

Pada tabel di atas dapat di lihat waktu tunda antara rele sangat kecil (kurang dari 0,2 detik) yang menyebabkan kelima rele yang aktif akan mati secara bersamaan, sehingga ketika ada hubung singkat fasa ke tanah pada HVS3-BusB sistem akan *blackout* total dikarenakan semua sumber (generator dan sumber PLN) langsung terputus ketika ada gangguan hubung singkat fasa ke tanah seperti terlihat pada tabel 4.8. Dari simulasi hubung singkat tiga fasa dan fasa ke tanah dapat disimpulkan *setting* koordinasi rele jika terjadi gangguan pada HVS3-BusB masih salah sehingga perlu adanya perbaikan sistem dan perbaikan *setting* koordinasi rele baik koordinasi rele fasa ataupun rele fasa ke tanah.

#### 4.1.5 *Case 5 (Sequence of operation pada bus HVS3-Bus A)*

Pada *case 5* dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada bus HVS3-BusA. Terdapat dua simulasi yang dilakukan yaitu simulasi hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat fasa ke tanah. Gambar 4.10 menunjukkan hasil simulasi koordinasi rele jika terjadi gangguan tiga fasa pada HVS3-BusA.

#### 4.1.5.1. Sequence of Operation Gangguan Tiga Fasa pada HVS3-BusA.



**Gambar 4.10** Sequence of Operation Hubung Singkat Tiga Fasa Bus HVS3-BusA

Pada gambar 4.10 di atas ditampilkan hasil simulasi koordinasi rele jika terjadi gangguan tiga fasa 30 cycle pada HVS3-BusA. Hasil urutan koordinasi *trip* rele sudah bisa dikatakan benar namun jika di

lihat pada tabel 4.9 di bawah ini akan terlihat kesalahan koordinasi rele yaitu pada *setting* waktu tunda rele.

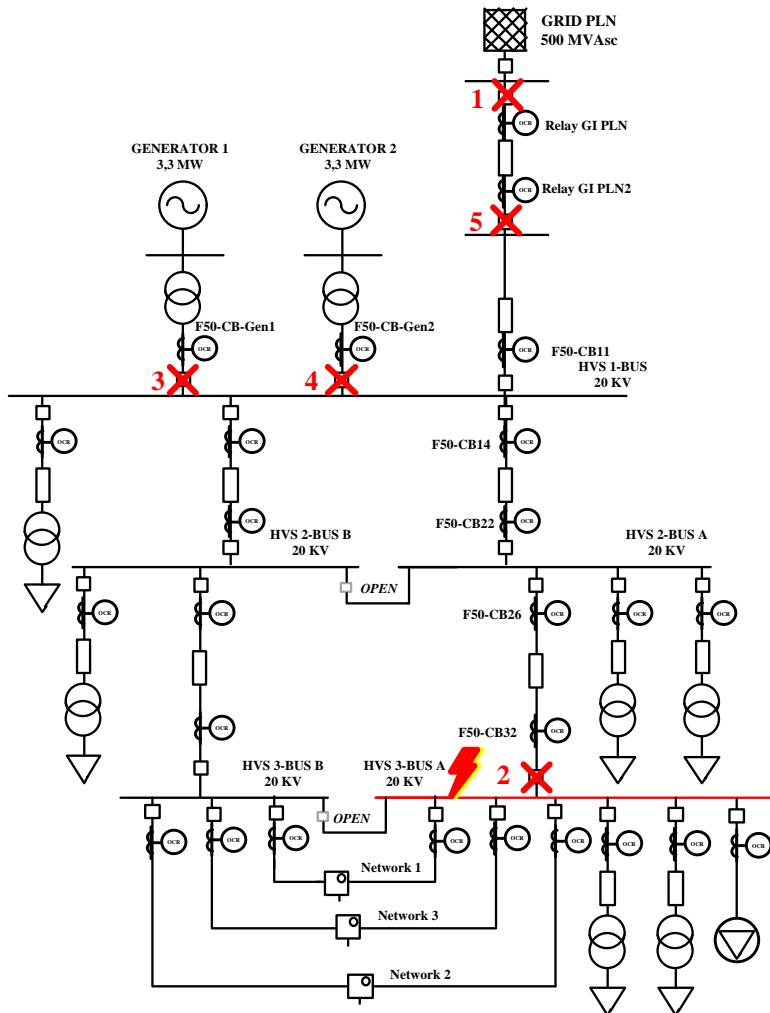
**Tabel 4. 9** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Tiga Fasa pada Bus HVS3-BusA

No	<i>Fault Type : Short Circuit 3 Phase (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	150	F50-CB32	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	170	F50-CB26	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	190	F50-CB22	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	210	F50-CB14	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	230	F50-CB11	8,856	<i>Phase - OC1 - 50</i>
6	372	Relay GI PLN	8,856	<i>Phase - OC1 - 51</i>
7	372	Relay GI PLN2	8,856	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Pada tabel 4.9 dapat di lihat kesalahan terjadi pada selisih waktu tunda masing-masing rele berada di bawah waktu tunda rele yang seharusnya (0,2 sampai 0,4 detik) sehingga dapat dikatakan semua rele yang aktif pada saat terjadi gangguan di HVS3-BusA akan *trip* secara bersama-sama dan ini artinya hampir tidak ada rele *backup* pada sistem sehingga sistem bagian kiri akan seketika mati total dan hanya sistem sebelah kanan yang masih dapat beroperasi dengan menerima aliran daya dari generator.

#### **4.1.5.2. *Sequence of Operation* Gangguan Fasa ke Tanah pada HVS3-BusA.**

Pada kasus ini akan dilakukan hubung singkat 30 *cycle* fasa ke tanah pada bus HVS3-BusA untuk mengetahui koordinasi rele *overcurrent* fasa ke tanah apabila terjadi gangguan pada bus tersebut. Gambar 4.11 akan menunjukkan hasil urutan kerja rele fasa ke tanah apabila terjadi gangguan pada bus HVS3-BusA.



**Gambar 4.11** *Sequence of Operation Hubung Singkat Fasa ke Tanah Bus HVS3-BusA*

Pada gambar 4.11 terlihat urutan koordinasi rele fasa ke tanah yang *trip* ketika terjadi gangguan fasa ke tanah masih salah. Hal ini disebabkan ketika terjadi hubung singkat fasa ke tanah pada HVS3-BusA, rele pertama yang bekerja merupakan Relay GI PLN di susul dengan aktifnya rele generator kurang dari 0,1 detik seperti pada tabel 4.10 sehingga ketika terjadi hubung singkat fasa ke tanah sistem kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong akan mati total.

**Tabel 4.10** *Sequence of Operation* Hubung Singkat Fasa ke Tanah pada Bus HVS3-BusA

No	<i>Fault Type : Short Circuit Line - to - Ground (30 cycle)</i>			
	Waktu Tunda (ms)	Rele	Arus Gangguan (kA)	Kondisi
1	114	Relay GI PLN1	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>
2	150	F50-CB32	0,401	<i>Ground - OC1 - 51</i>
3	227	F50-CB-GEN1	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
4	227	F50-CB-GEN2	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
5	267	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>

Pada tabel 4.10 dapat di lihat waktu tunda antara rele kurang dari 0,2 detik yang menyebabkan kelima rele akan aktif secara bersamaan, sehingga ketika ada hubung singkat fasa ke tanah pada HVS3-BusA sistem akan *blackout* total dikarenakan semua sumber (generator dan sumber PLN) langsung terputus seperti terlihat pada tabel 4.10. Dari simulasi hubung singkat tiga fasa dan fasa ke tanah dapat disimpulkan *setting* koordinasi rele jika terjadi gangguan pada HVS3-BusA masih salah sehingga perlu adanya perbaikan sistem dan perbaikan *setting* koordinasi rele baik koordinasi rele fasa ataupun rele fasa ke tanah.

Dari *case 1* sampai *case 5* dapat di lihat bahwa sistem koordinasi rele masih kurang tepat. Semua selisih waktu tunda antar rele masih di bawah nilai minimum *delay* (0,2 detik – 0,4 detik). Urutan pada gangguan tiga fasa dapat dikatakan masih benar namun gangguan fasa ke tanah masih kurang tepat sehingga perlu dilakukan *setting* ulang rele.

Kesalahan koordinasi gangguan fasa ke tanah juga terjadi karena CT yang digunakan pada *setting* rele gangguan fasa ke tanah sama dengan CT pada gangguan tiga fasa, sehingga *setting* arus fasa ke



tanah terlalu tinggi. Hal ini karena CT untuk gangguan fasa ke tanah pada PT. Terminal Teluk Lamong ada tapi tidak digunakan. CT tersebut mempunyai rasio 20 : 1. Kesalahan urutan *trip* pada simulasi gangguan fasa ke tanah kebanyakan karena terputusnya aliran daya dari PLN secara langsung yang diakibatkan rele PLN langsung bekerja apabila terjadi gangguan pada tegangan 20kV. Rele milik PT. PLN (Persero) dengan *setting* rele seperti pada tabel 4.11 berikut tidak dapat di ubah oleh PT. Terminal Teluk Lamong, sehingga perlu diadakan penambahan trafo dengan rasio 1:1 untuk memisahkan bagian primer dan sekunder trafo. Trafo yang tidak difungsikan untuk mengubah level tegangan ini biasa disebut dengan *Insulating transformer*.

**Tabel 4.11** Data Setting Rele PLN

Nama Rele	Relay GI PLN		Relay GI PLN 2	
Merk	SEPAM 40		SEPAM 40	
Jenis Rele	Fasa	Ground	Fasa	Ground
Jenis Kurva	LTI	SI	LTI	SI
Rasio CT	1250/5	20/1	1250/5	20/1
Pickup Lowset	0,37	0,15	0,37	0,2
Time Dial	0,75	0,1	0,75	0,2
Pickup Highset	DISABLE	DISABLE	DISABLE	DISABLE
Time Delay	DISABLE	DISABLE	DISABLE	DISABLE

## 4.2 Pemasangan dan Pemilihan Kapasitas *Insulating Transformer*

Dari hasil simulasi hubung singkat pada *case 1* sampai *case 5* dapat di lihat bahwa sistem koordinasi rele PT. Terminal Teluk Lamong masih kurang tepat. Selisih waktu tunda antar rele masih di bawah nilai minimum *delay* (0,2 detik – 0,4 detik)[8]. Waktu tunda yang kecil tersebut dikarenakan arus hubung singkat yang terlalu besar yang dirasakan oleh rele PLN. Rele PLN menggunakan kurva *invers* sehingga ketika arus hubung singkat besar maka waktu pemutus akan cepat (kecil) sehingga rele-rele di bawah PLN diatur lebih kecil sedemikian hingga waktu tunda yang bisa diraih juga sangat kecil. Maka perlu adanya tambahan impedansi untuk mengurangi arus hubung singkat sehingga waktu pemutusan rele akan semakin lama. Urutan pada gangguan tiga fasa dapat dikatakan masih benar namun gangguan fasa ke tanah masih kurang tepat karena rele yang aktif pertama adalah rele milik PLN, sehingga jika terjadi gangguan fasa ke tanah pada jaringan 20 kV rele PLN akan *trip* terlebih dahulu dan sistem akan *blackout* total.

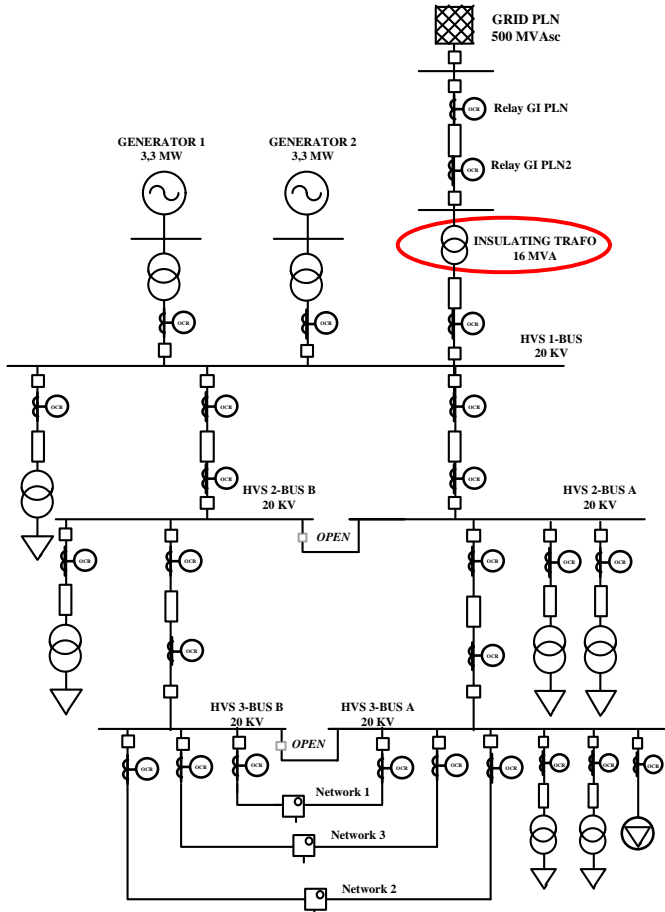
Untuk menanggulangi gangguan fasa ke tanah ini perlu ditambahkan transformer di bawah rele PLN untuk membatasi waktu tunda antara bagian atas dan bawah trafo. Adanya penambahan trafo akan memberi tambahan impedansi sistem sehingga permasalahan hubung singkat tiga fasa juga dapat di selesaikan dengan penambahan transformer pada bagian bawah rele PLN. Agar tidak mengubah tegangan saluran, maka digunakan transformer dengan rasio 1:1 (pada kasus ini digunakan 20kV:20kV karena transformer diletakkan pada tegangan 20 kV). Transformer ini biasanya disebut *insulating transformer* karena sifatnya bukan untuk merubah level tegangan namun untuk atau memisahkan bagian atas dan bawah trafo sekaligus melindungi bagian sekunder trafo dari gangguan dibagian primernya begitu pula sebaliknya.

Kapasitas trafo yang di pilih sebesar 16MVA karena PT. Terminal Teluk Lamong berlangganan sebesar 16 MVA pada PT. PLN sehingga kapasitas transformer yang di pilih adalah kapasitas terbesar saluran untuk mengestimasi tambahan beban yang mungkin ada pada sistem di kemudian hari. Besar impedansi yang di pilih adalah sebesar 10% dikarenakan Relay PLN seharusnya *trip* pada waktu sekitar 1 detik. Untuk mendapatkan waktu *trip* yang sesuai maka dilakukan beberapa percobaan penambahan impedansi dengan hasil seperti pada tabel 4.12 sehingga menghasilkan waktu *trip* yang seperti seharusnya. Pada *insulating trafo* dipasang NGR sebesar 200 Ampere. Pada gambar 4.12 di bawah merupakan lokasi pemasangan *insulating trafo* pada PT. Terminal Teluk Lamong.

**Tabel 4.12** Pemilihan Impedansi *Insulating transformer*

No	%Z	Arus Kontribusi Rele PLN (kA)	Waktu Trip Rele PLN(ms)
1	5	5,453	626
2	6	4,885	706
3	7	4,423	788
4	8	4,04	873
5	9	3,718	959
6	10	3,443	1048
7	11	3,205	1139
8	12	2,998	1231

Pada tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa pemilihan impedansi *insulating transformer* yang tepat adalah sebesar 10% karena pada tabel waktu *trip* yang terjadi mendekati 1 detik (1,048 detik ). Pemasangan *insulating transformer* berada di bawah rele PLN seperti terlihat pada gambar 4.12 berikut.



**Gambar 4.12** Single Line Diagram PT. Terminal Teluk Lamong Setelah Pemasangan *Insulating transformer*

Untuk mengetahui perbedaan arus hubung singkat pada bus-bus utama saat sebelum dan sesudah dipasang *insulating trafo* dapat di lihat pada tabel 4.13 di bawah.

**Tabel 4.13** Perbandingan Arus Hubung Singkat Sebelum dan Setelah Dipasang *Insulating Transformer*

No	BUS	Isc Sebelum Dipasang <i>Insulating Trafo (kA)</i>				Isc Setelah Dipasang <i>Insulating Trafo (kA)</i>			
		Isc <sub>3Ø</sub> 0,5 <i>Cycle</i>	Isc <sub>3Ø</sub> 4 <i>Cycle</i>	Isc <sub>3Ø</sub> 30 <i>Cycle</i>	Isc <sub>L-G</sub> 30 <i>Cycle</i>	Isc <sub>3Ø</sub> 0,5 <i>Cycle</i>	Isc <sub>3Ø</sub> 4 <i>Cycle</i>	Isc <sub>3Ø</sub> 30 <i>Cycle</i>	Isc <sub>L-G</sub> 30 <i>Cycle</i>
1	HVS1-Bus	17,59	16,31	11,56	0,41	8,67	7,36	3,71	0,59
2	HVS2-BusA	13,94	12,81	8,93	0,4	8,12	6,88	3,42	0,59
3	HVS2-BusB	13,43	12,47	8,93	0,4	7,83	6,68	3,42	0,59
4	HVS3-BusA	12,86	11,76	8,17	0,4	7,97	6,69	3,30	0,59
5	HVS3-BusB	12,21	11,32	8,17	0,4	7,52	6,42	3,30	0,59
6	HVS4A	12,16	11,14	7,73	0,4	7,74	6,53	3,24	0,59
7	HVS4B	11,55	10,74	7,73	0,4	7,31	6,26	3,24	0,59
8	HVS31A	10,94	10,20	7,41	0,4	7,12	6,13	3,21	0,58
9	HVS31B	11,50	10,58	7,41	0,4	7,55	6,39	3,21	0,58
10	MVMDDB#1	9,85	8,78	6,20	0,2	8,84	7,58	4,48	0,2
11	MVMDDB#2	9,85	8,78	6,20	0,2	8,84	7,58	4,48	0,2
12	MVS31A	9,85	8,78	6,20	0,2	8,84	7,58	4,48	0,2
13	MVS31B	9,11	8,48	6,20	0,2	8,18	7,34	4,48	0,2
14	MVS41A	11,44	10,29	6,87	0,2	10,17	8,79	4,82	0,2
15	MVS41B	12,63	11,08	6,88	0,2	11,38	9,59	4,82	0,2

Pada tabel 4.13 dapat di lihat arus hubung singkat fasa (0,5 *cycle*, 4 *cycle* dan 30 *cycle*) mengalami penurunan karena adanya tambahan impedansi pada sistem yang cukup besar. Sedangkan arus hubung singkat fasa ke tanah pada tegangan 20 kV mengalami perubahan dari sekitar 0,4 kA menjadi sekitar 0,6 kA. Perubahan ini

### 4.3. Pemilihan Tipikal

64

#### 4.4. Studi Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

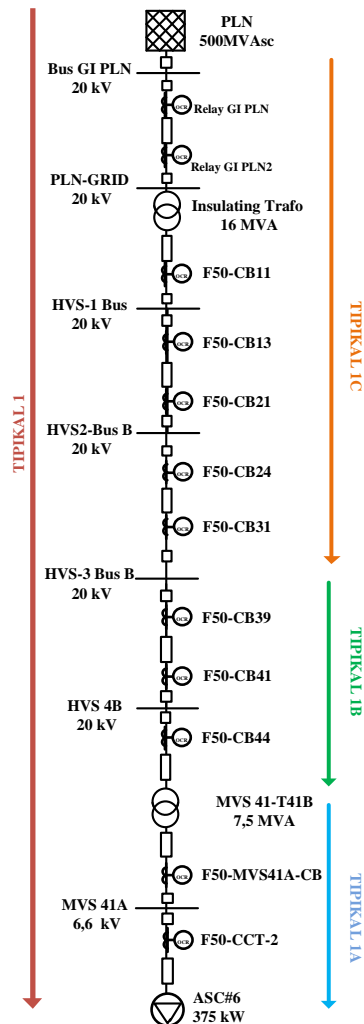
Koordinasi proteksi rele arus lebih adalah *setting* rele arus lebih pada rele yang kemudian dilakukan pengaturan arus gangguan yang mengakibatkan rele melakukan *sensing* serta diatur juga waktu tunda rele dari pertama rele merasakan gangguan sampai dengan pengiriman sinyal ke *circuit breaker* agar dapat aktif (*open*) dan mengisolasi gangguan sehingga dapat menjaga kontinuitas penyaluran daya dan menjaga peralatan dari kerusakan. Pada rele arus lebih fasa ini akan dilakukan *setting* rele dalam merasakan arus gangguan fasa, baik gangguan satu fasa, antar fasa ataupun tiga fasa. Koordinasi rele arus kali ini dilakukan setelah pemasangan *insulating transformer* yang mengakibatkan nilai arus hubung singkat menjadi lebih kecil, seperti yang terlihat pada tabel 4.13 di atas.

Dalam subbab ini yang dilakukan pertama kali adalah menampilkan hasil *sequence of operation* rele beserta kurva TCC (*Time Current Curve*) rele arus lebih fasa pada kondisi *existing*. Yang kedua melakukan *setting* ulang atau *resetting* rele arus lebih fasa dengan cara melakukan perhitungan berdasar parameter nilai – nilai pendukung seperti *full load ampere* (FLA) peralatan, kontribusi arus hubung singkat yang mengalir melewati rele, dan nilai rasio CT. Parameter yang didapatkan kemudian digunakan untuk menentukan nilai *pick up lowset*, *time dial*, *pick up highset* dan *time delay* dari rele arus lebih fasa. Setelah poin kedua dilakukan, parameter – parameter hasil tersebut diinputkan ke dalam program simulasi, dan dilakukan *plotting* ulang kurva TCC serta simulasi koordinasi proteksi atau *sequence of operation* rele arus lebih fasa.

##### 4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Pada tipikal 1 ini ada sepuluh rele yang diatur ulang mulai dari rele di bawah *insulating trafo* (F50-CB11) sampai rele pada beban terjauh dan terbesar di Network 4 (F50-CTT-2). Karena rele terlalu banyak maka tipikal 1 dibagi menjadi 3 yaitu tipikal 1A, tipikal 1B, dan tipikal 1C. Tipikal 1A di mulai dari bawah trafo MVS-41-T41B yaitu F50-MVS41A-CB sampai F50-CCT-2. Tipikal 1B di mulai dari rele bagian bawah HVS3-BusB yaitu F50-CB39 sampai bagian atas trafo MVS-41-T41B (F50-CB44). Tipikal 1C di mulai dari Relay PLN sampai bagian atas HVS3-BusB yaitu F50-CB31. Single line diagram tipikal 1 terlihat seperti pada gambar 4.14. Dua rele yang berada di atas *insulating trafo* tidak di atur ulang pada tipikal karena kedua rele tersebut merupakan

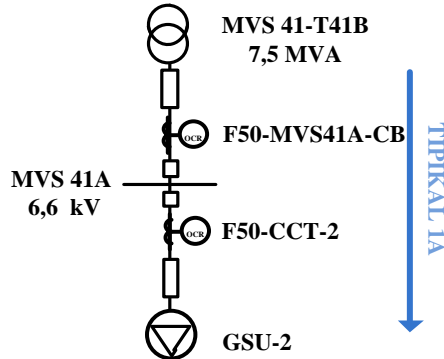
rele milik PT. PLN (Persero) dan PT. Terminal Teluk Lamong tidak mempunyai wewenang untuk mengatur ulang rele tersebut.



Gambar 4.14 Single Line Diagram Gangguan Fasa Tipikal 1

#### 4.4.1.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1A

Pada gambar 4.15 di bawah di merupakan *single line diagram* gangguan fasa tipikal 1A.



**Gambar 4.15** *Single Line Diagram* Gangguan Fasa Tipikal 1A

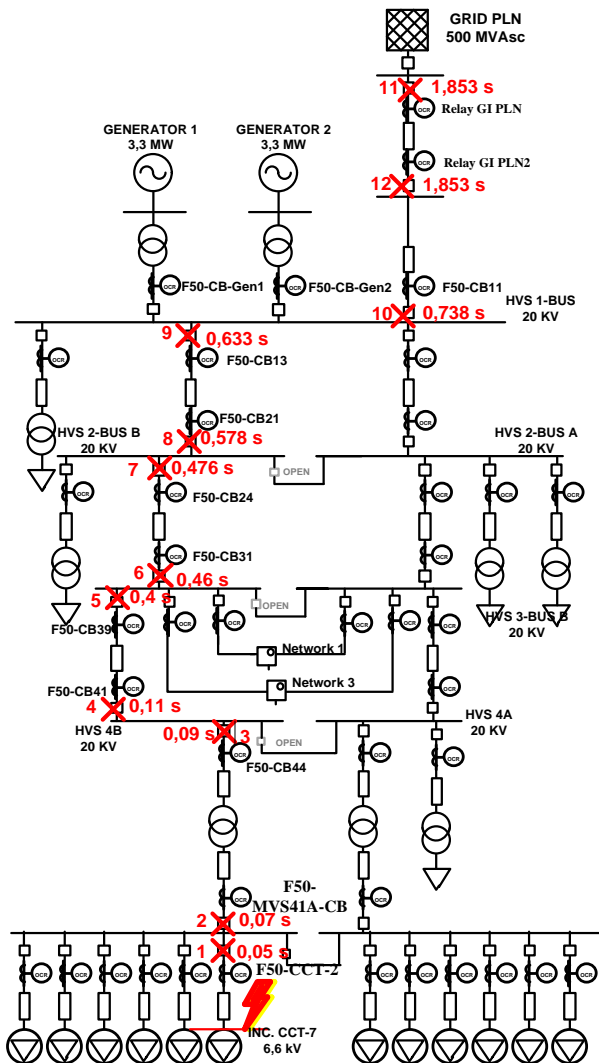
Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele kondisi *existing* maka pada tabel 4.14 berikut ditunjukkan data *existing* rele tipikal 1A.

**Tabel 4. 14** Data *Existing* Rele Gangguan Tiga Fasa Tipikal 1A

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CTT-2	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,66 (66A)
		<i>Time Dial</i>	0,1
		<i>Pickup Highset</i>	2 (200 A)
		<i>Time Delay</i>	0,05
F50-MVS41A-CB	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,34 (425 A)
		<i>Time Dial</i>	0,2
		<i>Pickup Highset</i>	2 (2500 A)
		<i>Time Delay</i>	0,07

Dari data *existing* yang ada didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada gambar 4.16 berikut.





**Gambar 4.16** Sequence of Operation Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 1A

Besaran nilai arus hubung singkat yang dirasakan rele dan waktu tunda rele ketika terjadi hubung singkat pada bus INC. CTT-7 terlihat pada tabel 4.15 berikut.

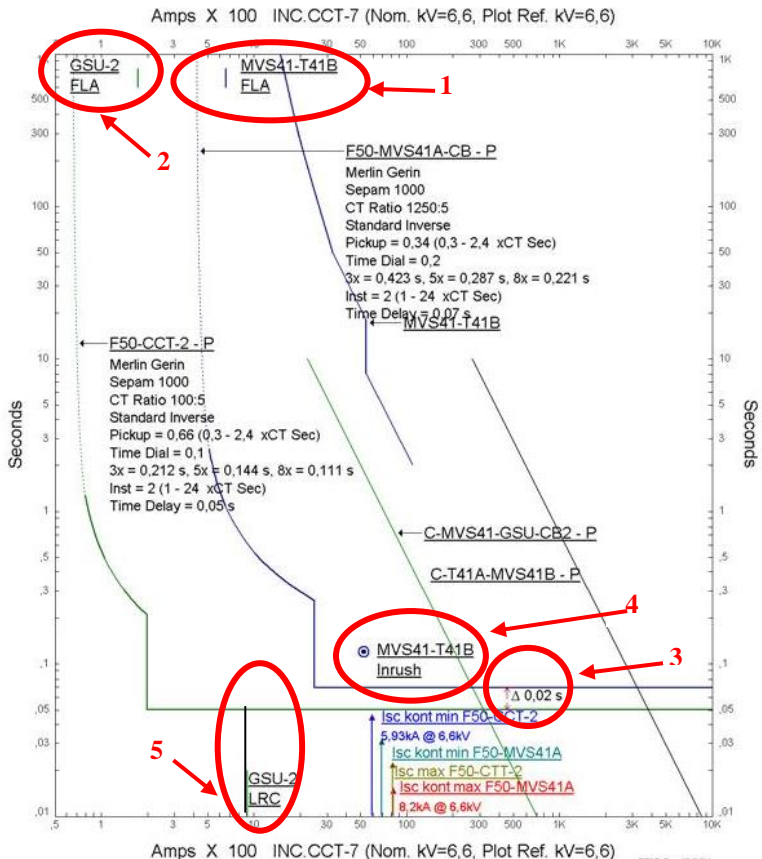
**Tabel 4.15** *Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1A*

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	50,0	F50-CCT-2	6,834	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	70,0	F50-MVS41A-CB	6,834	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	90,0	F50-CB44	2,255	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	110	F50-CB41	2,255	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	400	F50-CB39	2,255	<i>Phase - OC1 - 51</i>
6	460	F50-CB31	2,255	<i>Phase - OC1 - 51</i>
7	476	F50-CB24	2,255	<i>Phase - OC1 - 51</i>
8	578	F50-CB21	2,255	<i>Phase - OC1 - 51</i>
9	633	F50-CB13	2,255	<i>Phase - OC1 - 51</i>
10	738	F50-CB11	2,147	<i>Phase - OC1 - 51</i>
11	1853	Relay GI PLN	2,147	<i>Phase - OC1 - 51</i>
12	1853	Relay GI PLN2	2,147	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Pada gambar 4.17 akan ditampilkan *Time Current Curve* (TCC) pada tipikal 1A untuk membantu menganalisa kesalahan yang terjadi pada tipikal 1A. Berikut merupakan kesalahan yang terjadi pada tipikal 1A :

- Lingkar 1 : Pada lingkaran 1 terlihat kurva F50-MVS41A-CB berada sebelum garis FLA Trafo MVS41-T41B sehingga rele akan *trip* bahkan sebelum mencapai *FLA rated*.
- Lingkar 2 : Seperti pada lingkaran 1 kesalahan pada lingkaran 2 ini karena kurva rele F50-CCT-2 yang berfungsi untuk melindungi Lump GSU-2 berada sebelum FLA GSU-2 sehingga ketika motor pada GSU 2 *starting* rele akan *trip* sebelum mencapai *FLA rated*

- c. Lingkaran 3 : Pada lingkaran ini terlihat besar selisih waktu tunda kedua rele hanya sebesar 0,02 detik sehingga kedua rele ini akan melakukan *trip* secara bersamaan ketika terjadi gangguan hubung singkat. Karena waktu tunda minimal antar kedua rele adalah 0,2 detik.
- d. Lingkaran 4 : Pada lingkaran 4 dapat di lihat kurva rele F50-MVS41A-CB berada di bawah titik *inrush* trafo MVS41-T41B sehingga rele akan bekerja ketika trafo melakukan *energized*.
- e. Lingkaran 5 : Pada lingkaran ini kurva rele F50-CCT-2 memotong arus *starting* pada GSU-2 sehingga rele akan bekerja ketika motor pada GSU-2 melakukan *starting*.



**Gambar 4.17** Kurva TCC *Existing* Gangguan Fasa Tipikal 1A

Berdasarkan kesalahan yang terjadi pada kondisi *existing* maka perlu diadakan perhitungan *setting* rele ulang pada tipikal 1A seperti berikut :

**a. Rele F50-CCT-2**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 100/5 A

Isc kontribusi maksimum : 7,12 kA  
 Isc kontribusi minimum : 4,41 kA  
 FLA : 175 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 175 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 175$$

$$183,75 < I_{\text{set}} < 245$$

$$\frac{183,75}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{245}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{183,75}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{245}{100} \text{ In}$$

$$1,8375 \text{ In} < \text{Tap} < 2,45 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,85 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 1,85 \times 100 = 185 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{1}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,3 \cdot \left[ \left( \frac{7120}{185} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,482$$

Di pilih  $T_d = 2,2$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min}$$

$$1,6 \cdot 175 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 4410$$

$$280 < I_{\text{set}} < 3528$$

$$\frac{280}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3528}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{280}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3528}{100} \text{ In}$$

$$2,8 \text{ In} < \text{Tap} < 35,28 \text{ In}$$

Di pilih Tap 11,4 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 11,4 \times 100 = 1140 \text{ A}$$

### Time Delay

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

#### **b. Rele F50-MVS41A-CB**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 6,69 kA
Isc kontribusi minimum	: 4,82 kA
FLA	: 656,1 A

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 656,1 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 656,1$$

$$688,905 < I_{\text{set}} < 918,54$$

$$\frac{688,905}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{918,54}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{688,905}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{245}{100} \text{ In}$$

$$0,55 \text{ In} < \text{Tap} < 0,7348 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,55 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,55 \times 1250 = 687,5 \text{ A}$$

### Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,5 \cdot \left[ \left( \frac{6690}{687,5} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,4938$$

Di pilih  $T_d = 2,4$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA} \cdot I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \cdot 656,1 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 4820$$

$$1049,76 < I_{\text{set}} < 3856$$

$$\frac{1049,76}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3856}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{1049,76}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3856}{1250} \text{ In}$$

$$0,8398 \text{ In} < \text{Tap} < 3,0848 \text{ In}$$

Di pilih Tap 3 In (*Range 1 – 24 dengan step 0,1*)

$$I_{\text{set}} = 3 \times 1250 = 3750 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,5 detik

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan data seperti pada tabel 4.16 yang merupakan data *resetting* rele gangguan fasa Tipikal 1A. Data tersebut dimasukkan kedalam *setting* rele yang ada dan dilakukan simulasi ulang untuk melihat kondisi koordinasi rele setelah dilakukan *resetting*. Tabel 4.17 adalah hasil *Sequence of operation Resetting* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1A.

**Tabel 4.16** Data *Resetting* Rele Gangguan Fasa Tipikal 1A

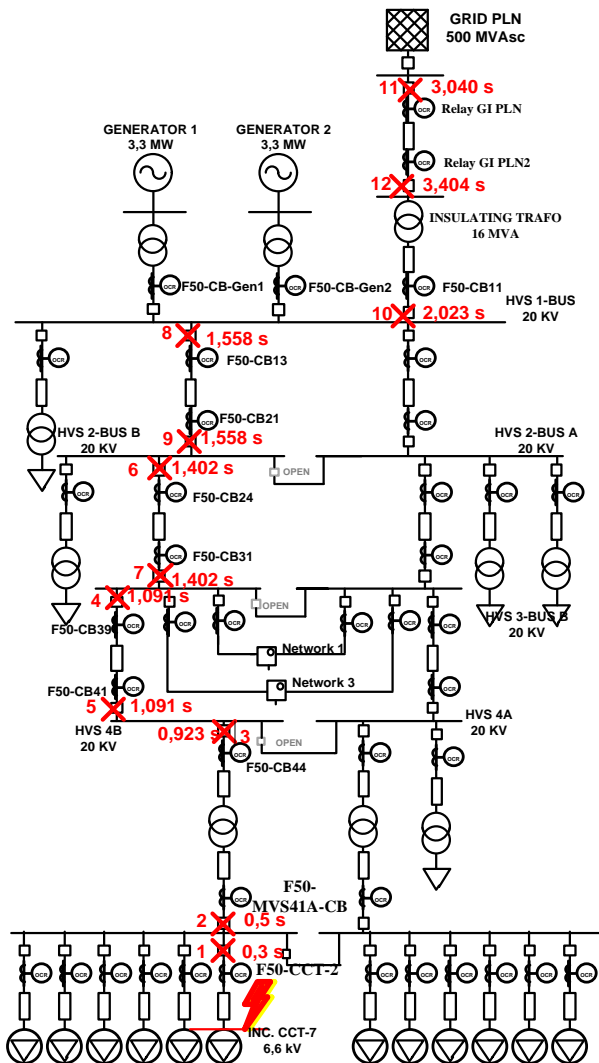
<b><i>ID rele</i></b>	<b><i>CT Ratio</i></b>	<b><i>Setting</i></b>	
F50-CTT-2	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,85( 185 A)
		<i>Time Dial</i>	2,2
		<i>Pickup Highset</i>	11,4 (1140A)
		<i>Time Delay</i>	0,3
F50-MVS41A-CB	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,55 (687,5 A)
		<i>Time Dial</i>	2,4
		<i>Pickup Highset</i>	3 (3750 A)
		<i>Time Delay</i>	0,5

**Tabel 4.17** *Sequence of operation Resetting Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1A*

No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	300	F50-CCT-2	5,023	<i>Phase - OC1 – 50</i>
2	500	F50-MVS41A-CB	5,023	<i>Phase - OC1 – 50</i>
3	923	F50-CB44	1,658	<i>Phase - OC1 – 51</i>
4	1091	F50-CB39	1,658	<i>Phase - OC1 – 51</i>
5	1091	F50-CB41	1,658	<i>Phase - OC1 – 51</i>
6	1402	F50-CB24	1,658	<i>Phase - OC1 – 51</i>
7	1402	F50-CB31	1,658	<i>Phase - OC1 – 51</i>
8	1558	F50-CB13	1,658	<i>Phase - OC1 – 51</i>
9	1558	F50-CB21	1,658	<i>Phase - OC1 – 51</i>
10	2023	F50-CB11	1,38	<i>Phase - OC1 – 51</i>
11	3404	Relay GI PLN	1,38	<i>Phase - OC1 – 51</i>
12	3404	Relay GI PLN2	1,38	<i>Phase - OC1 – 51</i>

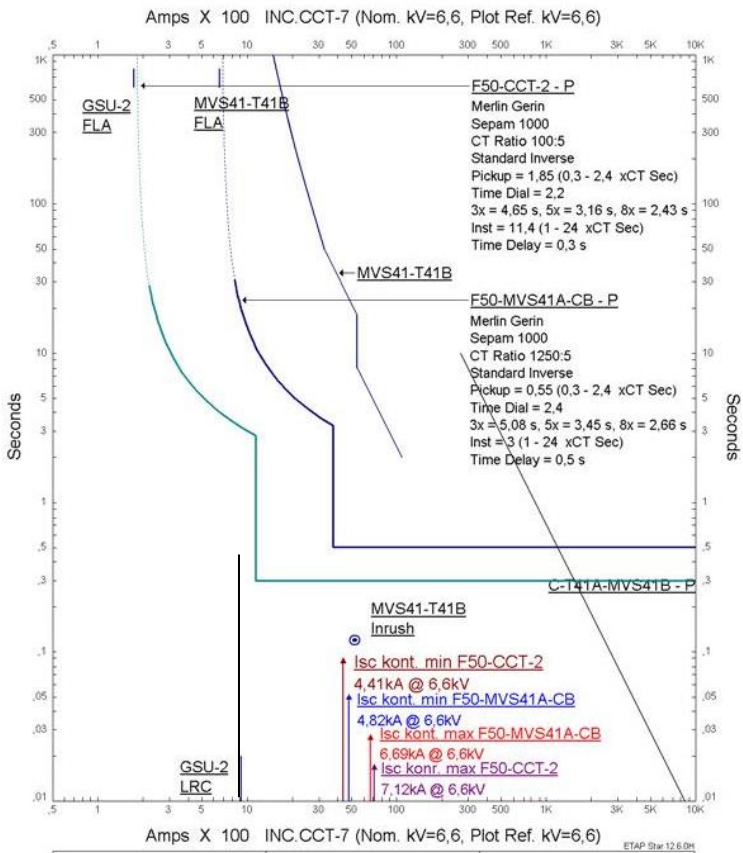
Pada tabel 4.17 dapat di lihat selisih waktu *trip* pada kedua rele sebesar 0,2 sampai 0,4 detik sehingga dapat memberikan jeda waktu pada rele F50-CCT-2 untuk melakukan *trip* terlebih dahulu dan ketika gangguan masih berlangsung rele F50-MVS41A-CB akan bekerja sebagai rele *backup* dengan urutan *trip* seperti pada gambar 4.18 berikut.





**Gambar 4.18** Sequence of Operation Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 1A

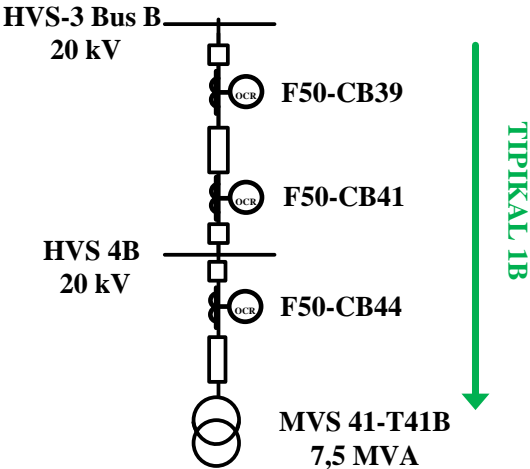
Pada gambar 4.19 ini merupakan hasil *time current curve* (TCC) kondisi *resetting* tipikal 1A. Pada gambar di bawah ini dapat dilihat kurva F50-CCT-2 berada disebelah kanan FLA lump GSU-2 dan F50-MVS41A-CB berada disebelah kanan FLA trafo MVS41-T41B sehingga peralatan dapat bekerja sampai dengan FLA peralatan. Garis LRC GSU-2 tidak memotong kurva F50-CCT-2 menandakan motor pada GSU-2 dapat melakukan *starting* dengan normal. Kurva rele F50-MVS41A-CB juga tidak melingkupi titik *inrush* MVS41-T41B sehingga trafo dapat melakukan *starting*.



**Gambar 4.19** Kurva TCC Resetting Gangguan Fasa Tipikal 1A

4.4.1.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1B

Pada gambar 4.20 di bawah di merupakan *single line diagram* gangguan fasa tipikal 1B.



**Gambar 4.20** *Single Line Diagram* Gangguan Fasa Tipikal 1B

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele kondisi *existing* maka pada tabel 4.18 berikut ditunjukkan data *existing* rele tipikal 1B.

**Tabel 4.18** Data *Existing* Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB44	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,5 (150 A)
		<i>Time Dial</i>	0,31
		<i>Pickup Highset</i>	7 (2100 A)
		<i>Time Delay</i>	0,09
F50-CB41	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	0,33
		<i>Pickup Highset</i>	1,8 (2250 A)
		<i>Time Delay</i>	0,37

**Tabel 4.18** Data *Existing* Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B (lanjutan)

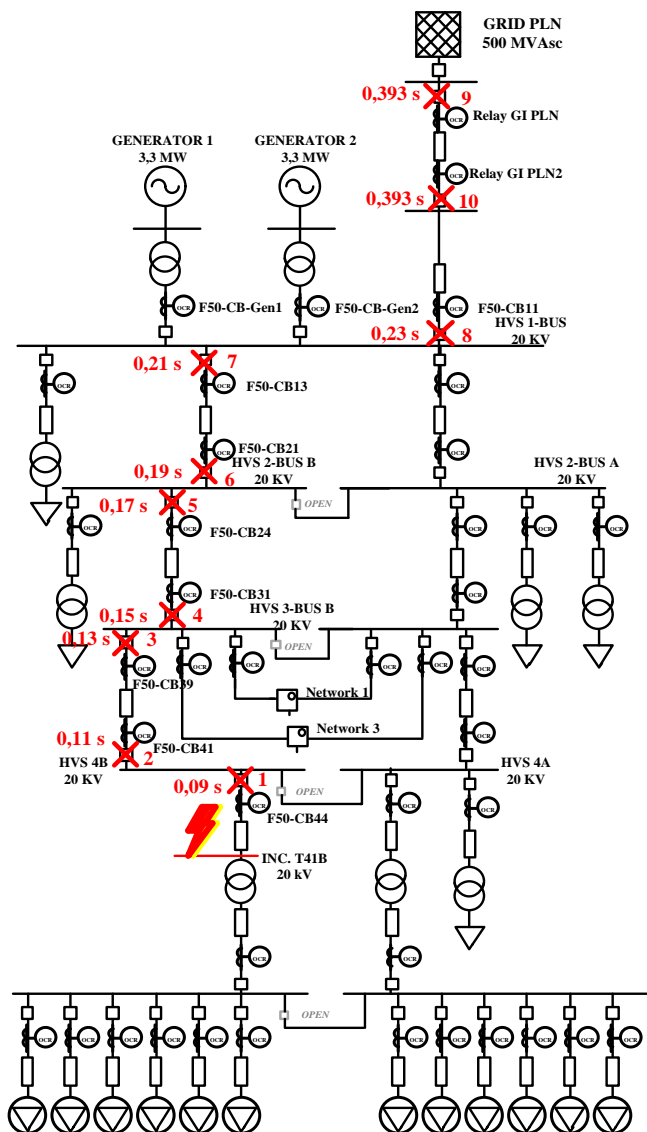
<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB39	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	0,11
		<i>Pickup Highset</i>	2,2 (2750 A)
		<i>Time Delay</i>	0,13

Dari data *existing* yang ada didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada gambar 4.19 berikut.

**Tabel 4.19** *Sequence of operation Existing* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1B

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	90,0	F50-CB44	8,841	<i>Phase - OC1 – 50</i>
2	110	F50-CB41	8,841	<i>Phase - OC1 – 50</i>
3	130	F50-CB39	8,841	<i>Phase - OC1 – 50</i>
4	150	F50-CB31	8,841	<i>Phase - OC1 – 50</i>
5	170	F50-CB24	8,841	<i>Phase - OC1 – 50</i>
6	190	F50-CB21	8,841	<i>Phase - OC1 – 50</i>
7	210	F50-CB13	8,841	<i>Phase - OC1 – 50</i>
8	230	F50-CB11	8,417	<i>Phase - OC1 – 50</i>
9	393	Relay GI PLN	8,417	<i>Phase - OC1 – 51</i>
10	393	Relay GI PLN2	8,417	<i>Phase - OC1 – 51</i>

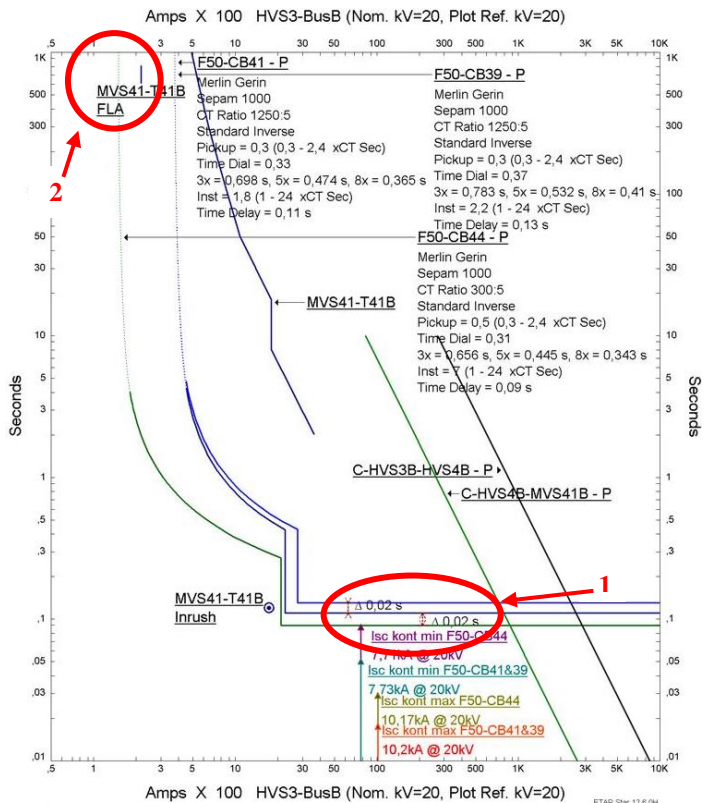
Pada tabel 4.19 dapat di lihat selisih waktu tunda antara rele masih salah karena kurang dari 0,2 detik sehingga terjadi *trip* secara serentak pada semua rele pada tipikal 1B. Urutan *trip* dapat di lihat seperti pada gambar 4.21. Pada gambar 4.21 dapat di lihat urutan *trip* rele sudah benar yaitu di mulai dari rele terdekat titik gangguan kemudian dilanjutkan dengan rele- rele selanjutnya menuju ke sisi sumber.



**Gambar 4.21** Sequence of Operation Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B

Pada gambar 4.22 di bawah ini merupakan kurva TCC pada keadaan *existing*. Terdapat beberapa kesalahan pada kurva TCC tipikal 1B antara lain sebagai berikut :

- Lingkaran 1 : Pada lingkaran 1 ini dapat di lihat selisih waktu *trip* antara rele hanya sebesar 0,02 detik sehingga dapat dikatakan terjadi *trip* secara bersamaan pada semua rele di tipikal 1B.
- Lingkaran 2 : Pada lingkaran 2 berikut dapat di lihat kurva F50-CB44 berada disebelah kiri FLA trafo MVS41-T4CB sehingga rele sebelum trafo mencapai arus nominal (*full load ampere*) rele akan bekerja/melakukan *trip*.



**Gambar 4.22** Kurva TCC *Existing* Gangguan Fasa Tipikal 1B

Berdasarkan kesalahan yang terjadi pada kondisi *existing* maka perlu diadakan perhitungan *setting* ulang pada rele tipikal 1B seperti berikut :

**a. Rele F50-CB44**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 300/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 8,689 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,24 kA
FLA	: 216,5 A

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 216,5 < I_{set} < 1,4 \cdot 216,5$$

$$227,325 < I_{set} < 303,1$$

$$\frac{227,325}{\text{Primer CT}} I_n < \text{Tap} < \frac{303,1}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\frac{227,325}{300} I_n < \text{Tap} < \frac{303,1}{300} I_n$$

$$0,75 < \text{Tap} < 1,01$$

Di pilih Tap 0,75 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 0,75 \times 300 = 225 \text{ A}$$

**Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,1 \cdot \left[ \left( \frac{8689}{225} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,16$$

Di pilih Td = 0,8

### **Instantaneous Pickup**

Isc max kontribusi sekunder trafo .  $\frac{6,6}{20} < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \text{ min}}$

$$6710 \cdot \frac{6,6}{20} < I_{set} < 0,8 \cdot 3240$$

$$\frac{2214,3}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2592}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{2214,3}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2592}{300} \text{ In}$$

$$7,381 \text{ In} < \text{Tap} < 8,64$$

Di pilih Tap 7,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 7,9 \times 300 = 2370 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

#### **b. Rele F50-CB41**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 8,689 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,24 kA
FLA	: 216,5 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{set} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 216,5 < I_{set} < 1,4 \cdot 216,5$$

$$227,325 < I_{set} < 303,1$$

$$\frac{227,325}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{303,1}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{227,325}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{303,1}{1250} \text{ In}$$

$$0,182 \text{ In} < \text{Tap} < 0,242 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,3 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 0,3 \times 1250 = 375 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{1}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,1 detik



$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,1 \cdot \left[ \left( \frac{8689}{375} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,1376$$

Di pilih  $T_d = 0,7$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \min}$$

$$1,6 \cdot 216,5 < I_{set} < 0,8 \cdot 3240$$

$$346,3 < I_{set} < 2592$$

$$\frac{346,4}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2592}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{346,4}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2592}{1250} \text{ In}$$

$$0,277 \text{ In} < \text{Tap} < 2,07 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

### **c. Rele F50-CB39**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 8,689 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,24 kA
FLA	: 216,5 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{set} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 216,5 < I_{set} < 1,4 \cdot 216,5$$

$$227,325 < I_{set} < 303,1$$

$$\frac{227,325}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{303,1}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{227,325}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{303,1}{1250} \text{ In}$$

$$0,182 \text{ In} < \text{Tap} < 0,242 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,3 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,3 \times 1250 = 375 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,1 \cdot \left[ \left( \frac{8689}{375} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,1376$$

Di pilih  $T_d = 0,7$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \cdot 216,5 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 3240$$

$$346,3 < I_{\text{set}} < 2592$$

$$\frac{346,4}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2592}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{346,4}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2592}{1250} \text{ In}$$

$$0,277 \text{ In} < \text{Tap} < 2,07 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

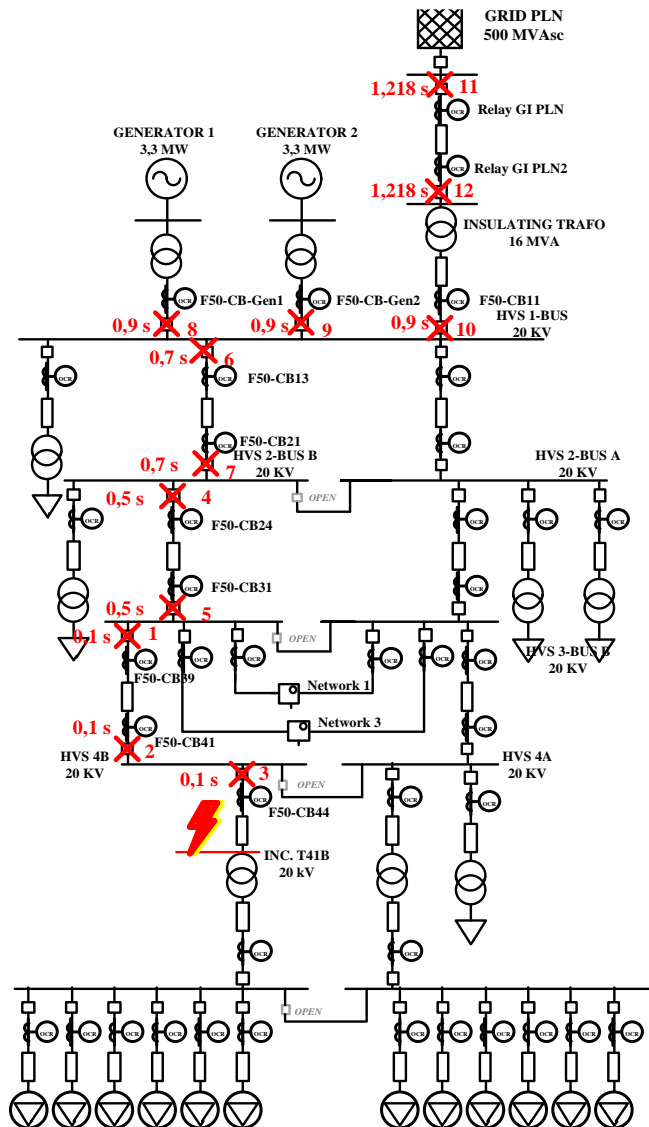
Dari hasil perhitungan di atas didapatkan data seperti pada tabel 4.20. yang kemudian dilakukan simulasi ulang untuk mengetahui *sequence of operation* rele hasil *resetting*. Sedangkan tabel 4.21 merupakan tabel hasil simulasi *sequence of operation* pada tipikal 1B.

**Tabel 4.20** Data *Resetting* Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB44	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,75 (225A)
		<i>Time Dial</i>	0,8
		<i>Pickup Highset</i>	7,9 (2370 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
F50-CB41	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	0,7
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
F50-CB39	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	0,7
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1

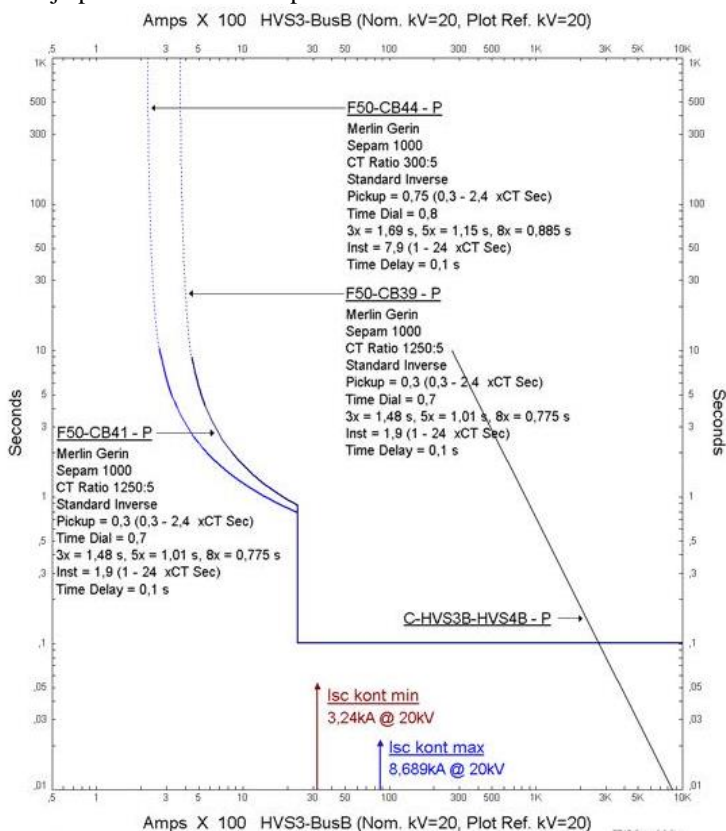
**Tabel 4.21** *Sequence of Operation Resetting* Tiga Fasa Tipikal 1B

No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	F50-CB39	3,635	<i>Phase - OC1 – 50</i>
2	100	F50-CB41	3,635	<i>Phase - OC1 – 50</i>
3	100	F50-CB44	3,635	<i>Phase - OC1 – 50</i>
4	500	F50-CB24	3,635	<i>Phase - OC1 – 50</i>
5	500	F50-CB31	3,635	<i>Phase - OC1 – 50</i>
6	700	F50-CB21	3,635	<i>Phase - OC1 – 50</i>
7	700	F50-CB13	3,635	<i>Phase - OC1 – 50</i>
8	900	F50-CB-GEN1	0,307	<i>Phase - OC1 – 50</i>
9	900	F50-CB-GEN2	0,307	<i>Phase - OC1 – 50</i>
10	900	F50-CB11	3,026	<i>Phase - OC1 – 50</i>
11	1218	Relay GI PLN	3,026	<i>Phase - OC1 – 51</i>
12	1218	Relay GI PLN2	3,026	<i>Phase - OC1 – 51</i>



**Gambar 4.23** *Sequence of Operation Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 1B*

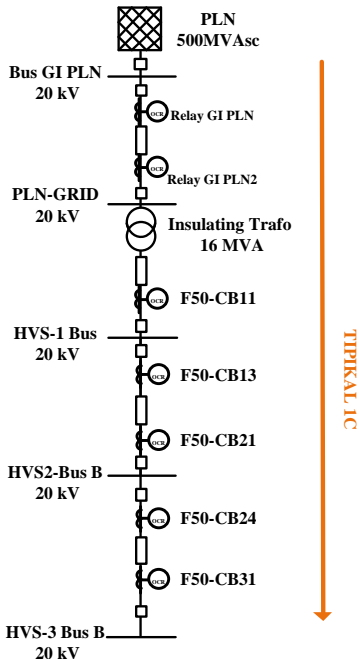
Pada tabel 4.21 didapatkan hasil simulasi *sequence of operation* kondisi *resetting* pada tipikal 1B. Selisih waktu tunda antara rele masih dalam kondisi yang diperbolehkan, yaitu 0,2 detik sampai 0,4 detik. Pada gambar 4.23 terlihat urutan nomor 1,2 dan 3 terbalik dari sumber ke beban, hal ini tidak dipermasalahkan karena waktu *trip* ketiga rele sama dan urutan *trip* pada simulasi di mulai berdasarkan abjad. Hal yang sama berlaku pada rele dengan urutan 4 dan 5. Gambar 4.24 di bawah ini merupakan gambar *tcc resetting* tipikal 1B. Dapat di lihat pada gambar, ketiga rele bekerja bersamaan pada waktu 0,1 detik. Dan rele F50-CB44 berada pada sisi kanan FLA trafo sehingga trafo dapat bekerja pada kondisi beban penuh.



**Gambar 4.24** Kurva TCC Resetting Gangguan Fasa Tipikal 1B

4.4.1.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1C

Pada gambar 4.25 di bawah di merupakan *single line diagram* tipikal 1C.



Gambar 4.25 Single Line Diagram Gangguan FasaTipikal 1C

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele kondisi *existing* maka pada tabel 4.22 berikut ditunjukkan data *existing* rele tipikal 1C.

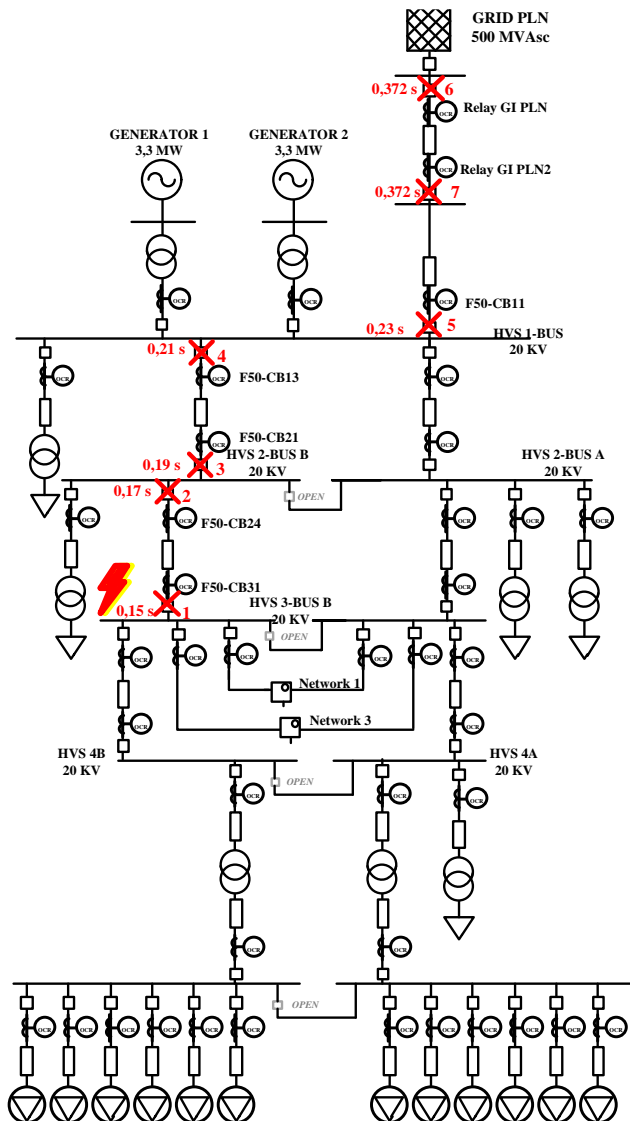
Tabel 4.22 Data Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 1C

ID rele	CT Ratio	Setting	
F50-CB31	1250/5	Pickup Lowset	0,4 (500 A)
		Time Dial	0,26
		Pickup Highset	2,4 (3000 A)
		Time Delay	0,15

**Tabel 4.22** Data *Existing* Rele Tipikal 1C (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB24	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,44 (550 A)
		<i>Time Dial</i>	0,28
		<i>Pickup Highset</i>	2,7 (3375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,17
F50-CB21	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,48 (600 A)
		<i>Time Dial</i>	0,33
		<i>Pickup Highset</i>	3 (3750 A)
		<i>Time Delay</i>	0,19
F50-CB13	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,5 (625 A)
		<i>Time Dial</i>	0,35
		<i>Pickup Highset</i>	3,2 (4000 A)
		<i>Time Delay</i>	0,21
F50-CB11	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,52 (650 A)
		<i>Time Dial</i>	0,38
		<i>Pickup Highset</i>	3,4 (4250 A)
		<i>Time Delay</i>	0,23

Untuk menganalisa kesalahan yang ada pada tipikal 1C dapat dilihat melalui kurva TCC (*Time Current Curve*) dan hasil *sequence of operation* pada kondisi *existing*. Pertama pada gambar 4.26 akan ditampilkan hasil koordinasi rele *existing* kemudian pada gambar 4.27 akan ditampilkan gambar kurva TCC untuk membantu menganalisa koordinasi rele *existing*.



**Gambar 4.26** *Sequence of operation Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 1C*



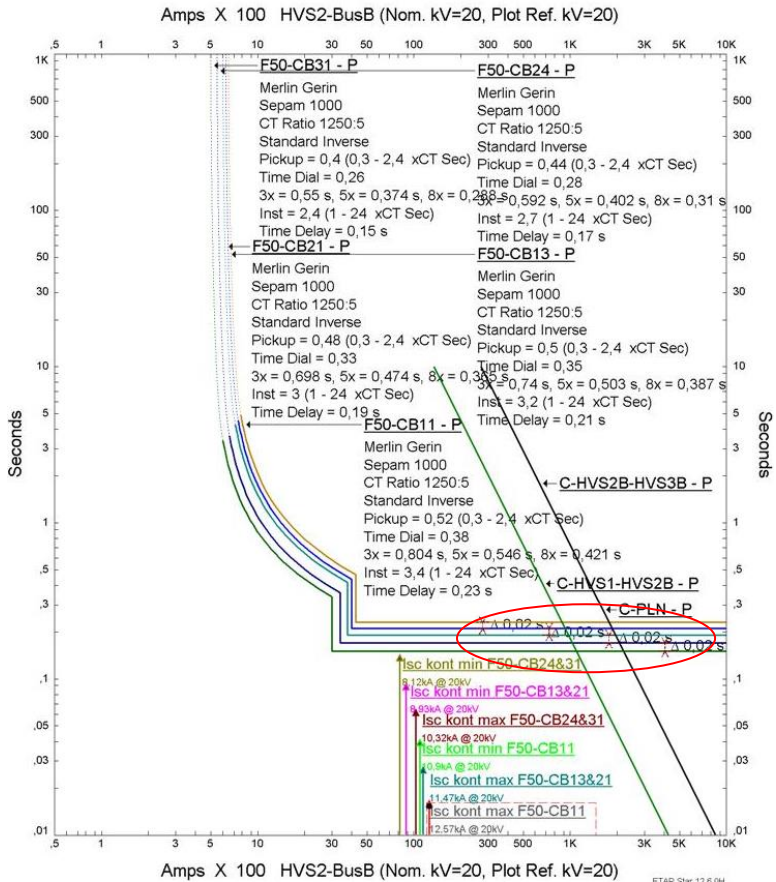
Untuk mempermudah melihat hasil *sequence of operation* di atas, pada tabel 4.23 berikut adalah urutan waktu operasi rele pada tipikal 1C beserta arus gangguan yang dirasakan rele.

**Tabel 4.23** *Sequence of operation Existing* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1C

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	150	F50-CB31	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	170	F50-CB24	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	190	F50-CB21	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	210	F50-CB13	9,301	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	230	F50-CB11	8,856	<i>Phase - OC1 - 50</i>
6	372	Relay GI PLN	8,856	<i>Phase - OC1 - 51</i>
7	372	Relay GI PLN2	8,856	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Dari tabel di atas dapat di lihat semua rele pada tipikal 1C sudah tepat urutan aktifnya. Namun waktu tundanya masih salah karena perbedaan waktu tunda nya hanya 0,02 detik yang seharusnya minimal waktu tundanya 0,2 detik. Untuk melihat lebih jelas mengenai kesalahan koordinasi yang ada dapat di lihat pada lingkaran merah pada TCC di gambar 4.27 di bawah. Pada gambar terlihat semua waktu tunda yang ada hanya 0,02 detik sehingga jika terjadi gangguan pada tipikal 1C ini sistem akan mati total. Pada gambar juga terlihat semua arus hubung singkat yang mungkin terjadi pada tipikal 1C mengenai kurva *instantaneous*, hal ini dianggap benar karena semua rele berada pada level tegangan yang sama. Sedangkan pada tabel 4.13 terlihat Relay GI PLN2 aktif pada kurva *invers* karena pada rele PLN hanya kurva *invers* yang diaktifkan, sedangkan kurva *instantaneous* dalam kondisi tidak aktif.

Pada gambar 4.27 dapat di lihat pada lingkaran merah selisih waktu tunda pada masing-masing rele masih salah karena hanya bernilai 0,02 detik.



**Gambar 4.27** Kurva TCC *Existing* Gangguan Fasa Tipikal 1C

Akibat adanya penambahan *insulating transformer* dan berdasarkan hasil analisa koordinasi rele pada kondisi *existing* tipikal 1C di atas, maka diperlukan *resetting* koordinasi rele pengaman. Berikut perhitungannya :

**a. Rele F50-CB31**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 5,37 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,3 kA
FLA	: 218,39 A

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 218,39 < I_{set} < 1,4 \cdot 218,39$$

$$229,31 < I_{set} < 305,75$$

$$\frac{229,31}{\text{Primer CT}} I_n < \text{Tap} < \frac{305,75}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\frac{229,305}{1250} I_n < \text{Tap} < \frac{305,74}{1250} I_n$$

$$0,1834 < \text{Tap} < 0,2446$$

Di pilih Tap 0,3In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 0,3 \times 1250 = 375 \text{ A}$$

**Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,5 \cdot \left[ \left( \frac{5370}{375} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,5799$$

Di pilih Td = 0,9

**Instantaneous Pickup**

$$1,6 FLA < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \min}$$

$$1,6 \cdot 218,39 < I_{set} < 0,8 \cdot 3300$$

$$349,42 < I_{set} < 2640$$

$$\frac{349,42}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2640}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{349,42}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2640}{1250} \text{ In}$$

$$0,279 \text{ In} < \text{Tap} < 2,112 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,5 detik

#### **b. Rele F50-CB24**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 5,37 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,3 kA
FLA	: 218,39 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 218,39 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 218,39$$

$$229,31 < I_{\text{set}} < 305,75$$

$$\frac{229,31}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{305,75}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{229,305}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{305,74}{1250} \text{ In}$$

$$0,1834 < \text{Tap} < 0,2446$$

Di pilih Tap 0,3In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,3 \times 1250 = 375 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{1}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,5 \cdot \left[ \left( \frac{5370}{375} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,5799$$

Di pilih  $T_d = 0,9$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \cdot 218,39 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 3300$$

$$349,42 < I_{\text{set}} < 2640$$

$$\frac{349,42}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2640}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{349,42}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2640}{1250} \text{ In}$$

$$0,279 \text{ In} < \text{Tap} < 2,112 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,5 detik

#### **c. Rele F50-CB21**

Manufaktur : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

Kurva : Standar Inverse

Rasio CT : 1250/5 A

Isc kontribusi maksimum : 5,64 kA

Isc kontribusi minimum : 3,42 kA

FLA : 228,63 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 228,63 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 228,63$$

$$240,06 < I_{\text{set}} < 320,08$$

$$\frac{240,06}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{320,08}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{240,06}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{320,08}{1250} \text{ In}$$

$$0,192 < \text{Tap} < 0,256$$

Di pilih Tap 0,3In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,3 \times 1250 = 375 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{1}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,7 \cdot \left[ \left( \frac{5640}{375} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,827$$

Di pilih  $T_d = 1$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot FLA < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \min}$$

$$1,6 \cdot 228,63 < I_{set} < 0,8 \cdot 3420$$

$$365,8 < I_{set} < 2736$$

$$\frac{365,8}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2736}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{365,8}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2736}{1250} \text{ In}$$

$$0,293 \text{ In} < \text{Tap} < 2,188 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,7 detik

#### **d. Rele F50-CB13**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 5,64 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,42 kA
FLA	: 228,63 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 228,63 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 228,63$$

$$240,06 < I_{\text{set}} < 320,08$$

$$\frac{240,06}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{320,08}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{240,06}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{320,08}{1250} \text{ In}$$

$$0,192 < \text{Tap} < 0,256$$

Di pilih Tap 0,3 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,3 \times 1250 = 375 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1\right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1\right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[\left(\frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,7 \cdot \left[\left(\frac{5640}{375}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,827$$

Di pilih  $T_d = 1$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \cdot 228,63 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 3420$$

$$365,8 < I_{\text{set}} < 2736$$

$$\frac{365,8}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2736}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{365,8}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2736}{1250} \text{ In}$$

$$0,293 \text{ In} < \text{Tap} < 2,188 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$$

### Time Delay

Di pilih *Time Delay* 0,7 detik

e. **Rele F50-CB11**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 3,44 kA
Isc kontribusi minimum	: 2,99 kA
FLA	: 351,65 A

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 351,65 < I_{set} < 1,4 \cdot 351,65$$

$$369,23 < I_{set} < 492,31$$

$$\frac{369,23}{\text{Primer CT}} I_n < \text{Tap} < \frac{492,31}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\frac{369,23}{1250} I_n < \text{Tap} < \frac{492,31}{1250} I_n$$

$$0,295 I_n < \text{Tap} < 0,3938 I_n$$

Di pilih Tap 0,35 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 0,35 \times 1250 = 437,5 \text{ A}$$

### Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,9 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,9 \cdot \left[ \left( \frac{3440}{437,5} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,804$$

Di pilih  $T_d = 1$



### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \cdot 351,65 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 2990$$

$$562,64 < I_{\text{set}} < 2392$$

$$\frac{562,64}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2392}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{562,64}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2392}{1250} \text{ In}$$

$$0,45 \text{ In} < \text{Tap} < 1,9136 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$$

### **Time Delay**

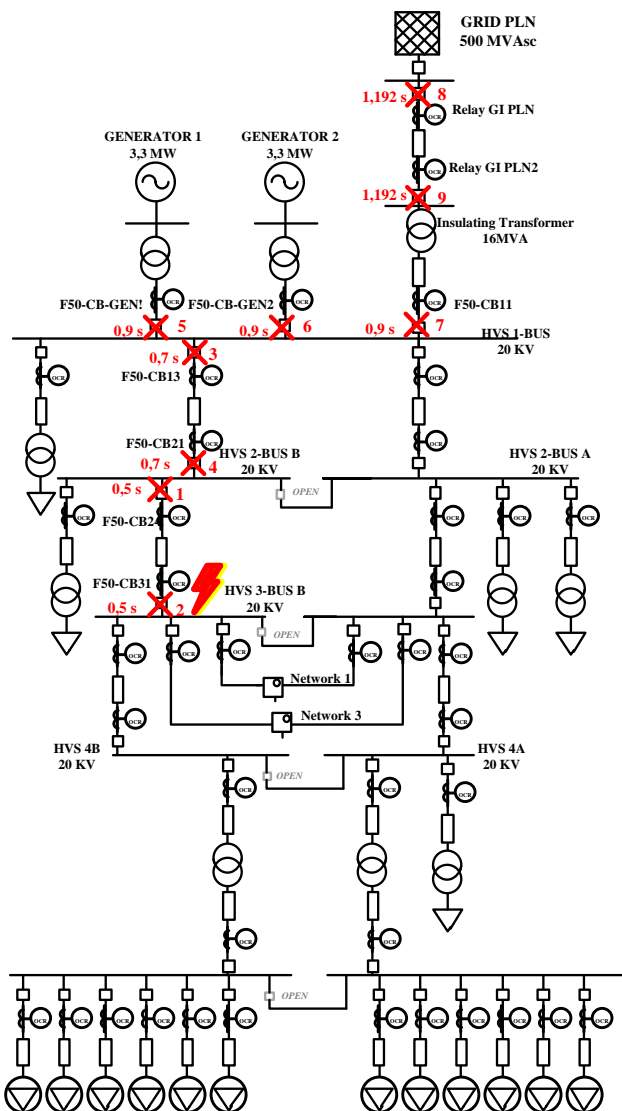
Di pilih *Time Delay* 0,9 detik

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai *resetting* rele seperti pada tabel 4.24 berikut ini.

**Tabel 4. 24** Data *Resetting* Rele Gangguan Fasa Tipikal 1C

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB31	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	0,9
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,5
F50-CB24	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	0,9
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,5
F50-CB21	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	1
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,7
F50-CB13	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	1
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,7
F50-CB11	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,35 (437,5A)
		<i>Time Dial</i>	1
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,9

Nilai hasil *resetting* tersebut kemudian dimasukkan ke rele yang ada dan dilakukan simulasi koordinasi proteksi dengan hasil seperti pada gambar 4.28 berikut.



**Gambar 4.28** *Sequence of Operation Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal 1C*

Pada gambar 4.28 dapat di lihat urutan rele aktif sudah benar. Waktu tunda seperti terlihat pada tabel 4.25 berikut mempunyai selisih 0,2 detik, sehingga waktu tunda dianggap sudah sesuai dengan standar yang ada (selisih waktu tunda 0,2 sampai 0,4 detik).

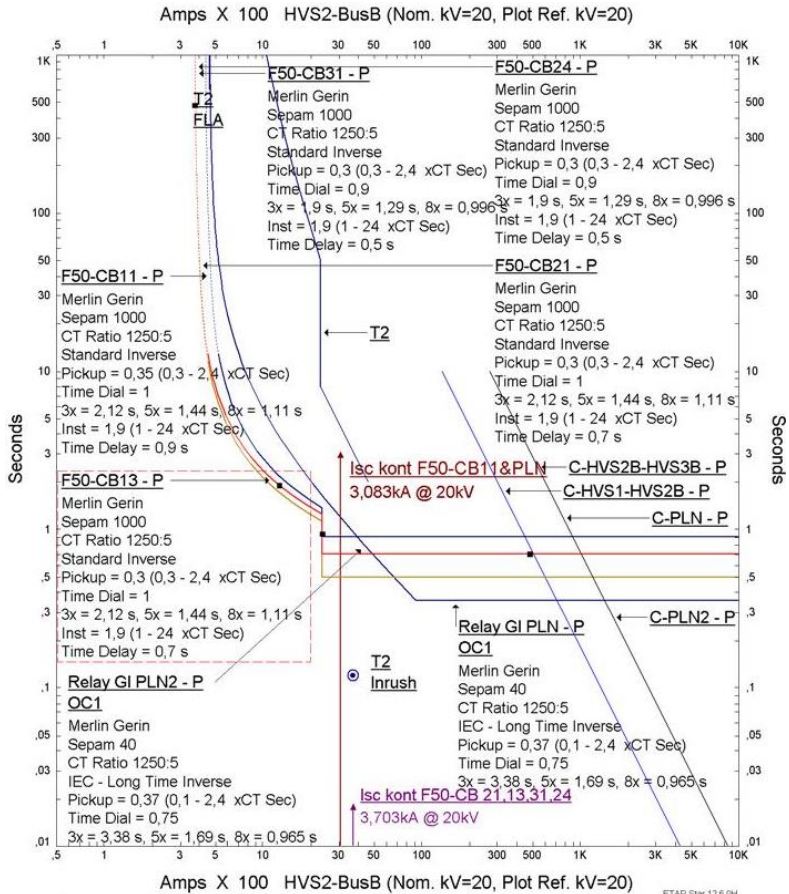
**Tabel 4. 25** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 1C

No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	500	F50-CB24	3,703	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	500	F50-CB31	3,703	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	700	F50-CB13	3,703	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	700	F50-CB21	3,703	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	900	F50-CB-GEN1	0,312	<i>Phase - OC1 - 50</i>
6	900	F50-CB-GEN2	0,312	<i>Phase - OC1 - 50</i>
7	900	F50-CB11	3,083	<i>Phase - OC1 - 50</i>
8	1192	Relay GI PLN	3,083	<i>Phase - OC1 - 51</i>
9	1192	Relay GI PLN2	3,083	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Bila dibandingkan dengan kondisi *existing* dapat di lihat besaran arus hubung singkat turun. Selain itu dibandingkan dengan keadaan *existing* pada kondisi *resetting* ini rele PLN tidak ada yang aktif karena arus hubung singkat yang terjadi pada sistem turun akibat penambahan impedansi berupa *insulating transformer*.

Pada gambar 4.29 dapat di lihat pada kurva TCC besar selisih waktu tunda antar rele sudah benar yaitu sebesar 0,2 detik. Ada beberapa rele yang berhimpitan seperti rele F50-CB31 dan F50-CB24 karena kedua rele memiliki *setting* rele yang sama. Kedua rele di *setting* sama karena kedua rele melindungi bus yang sama dan tidak ada cabang antar rele.

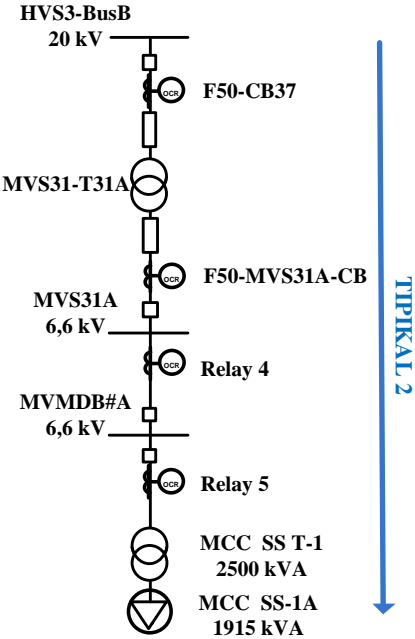
Rele PLN pada gambar memotong kurva instan rele lain karena rele tersebut hanya diatur kurva inversnya saja, hal ini diperbolehkan karena saat terjadi hubung singkat seperti pada gambar 4.29 arus hubung singkat yang terjadi memotong kurva rele dengan urutan yang sesuai.



**Gambar 4.29** Kurva TCC Reseting Gangguan Fasa Tipikal 1C

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2

Pada gambar 4.30 di bawah merupakan *single line diagram* gangguan fasa tipikal 2.



Gambar 4.30 Single Line Diagram Gangguan Fasa Tipikal 2

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele kondisi *existing* maka pada tabel 4.26 berikut ditunjukkan data *existing* rele tipikal 2.

Tabel 4.26 Data Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 2

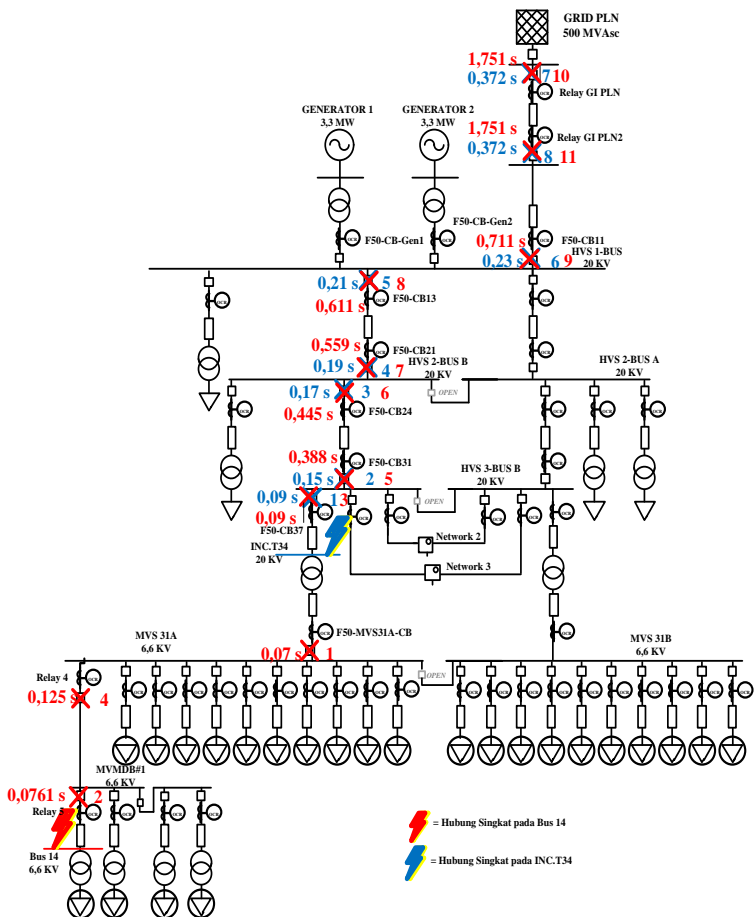
ID rele	CT Ratio	Setting	
Relay 5	300/5	Pickup Lowset	0,8 (240 A)
		Time Dial	0,1
		Pickup Highset	2 (600 A)
		Time Delay	0,1

**Tabel 4.26** Data *Existing* Rele Gangguan Fasa Tipikal 2 (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
Relay 4	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	2 (600 A)
		<i>Time Dial</i>	0,2
		<i>Pickup Highset</i>	5,8 (1740 A)
		<i>Time Delay</i>	0,125
F50-MVS31A-CB	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,4 (500 A)
		<i>Time Dial</i>	0,1
		<i>Pickup Highset</i>	1 (1250 A)
		<i>Time Delay</i>	0,07
F50-CB37	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,6 (180 A)
		<i>Time Dial</i>	0,14
		<i>Pickup Highset</i>	6,7 (2010 A)
		<i>Time Delay</i>	0,09

Untuk menganalisa kesalahan yang ada pada tipikal 2 dapat dilihat melalui kurva TCC (*Time Current Curve*) dan hasil *sequence of operation* pada kondisi *existing*. Pertama pada gambar 4.31 akan ditampilkan hasil koordinasi rele *existing* kemudian pada gambar 4.32 akan ditampilkan gambar kurva TCC untuk membantu menganalisa koordinasi rele *existing*.

Pada gambar 4.31 terlihat urutan kerja rele ketika ada hubung singkat pada bus 14 masih salah karena rele pertama yang bekerja adalah F50-MVS31A-CB padahal seharusnya rele yang pertama bekerja adalah rele yang paling dekat dengan beban (Relay 5). Jika dilakukan simulasi hubung singkat pada bus INC. T34 urutan kerja rele sudah benar namun waktu tunda antar rele masih kurang benar karena masih di bawah 0,2 detik seperti pada tabel 4.27.



**Gambar 4.31** *Sequence of Operation Existing Relays*

Untuk melihat waktu tunda dan arus gangguan pada masing-masing rele dapat di lihat pada tabel 4.27.

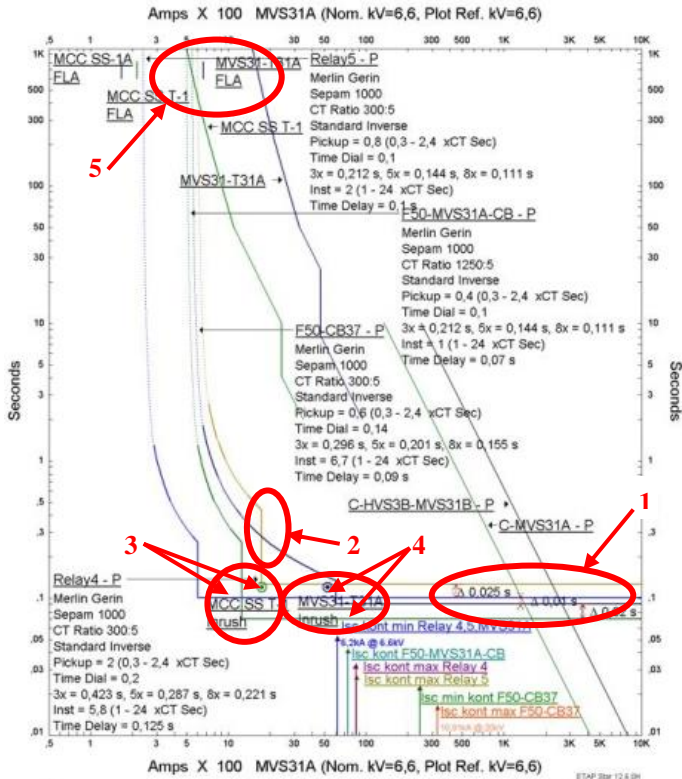


**Tabel 4.27** *Sequence of Operation Existing* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 2

Lokasi Hubung Singkat : Bus 14				
No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	70,0	F50-MVS31A-CB	7,148	<i>Phase - OCI - 50</i>
2	76,1	Relay5	7,148	<i>Phase - OCI - 51</i>
3	90,0	F50-CB37	2,359	<i>Phase - OCI - 50</i>
4	125	Relay4	7,148	<i>Phase - OCI - 50</i>
5	388	F50-CB31	2,359	<i>Phase - OCI - 51</i>
6	445	F50-CB24	2,359	<i>Phase - OCI - 51</i>
7	559	F50-CB21	2,359	<i>Phase - OCI - 51</i>
8	611	F50-CB13	2,359	<i>Phase - OCI - 51</i>
9	711	F50-CB11	2,246	<i>Phase - OCI - 51</i>
10	1751	Relay GI PLN	2,246	<i>Phase - OCI - 51</i>
11	1751	Relay GI PLN2	2,246	<i>Phase - OCI - 51</i>
Lokasi Hubung Singkat : Bus INC.T34				
No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	90,0	F50-CB37	9,279	<i>Phase - OCI - 50</i>
2	150	F50-CB31	9,279	<i>Phase - OCI - 50</i>
3	170	F50-CB24	9,279	<i>Phase - OCI - 50</i>
4	190	F50-CB21	9,279	<i>Phase - OCI - 50</i>
5	210	F50-CB13	9,279	<i>Phase - OCI - 50</i>
6	230	F50-CB11	8,835	<i>Phase - OCI - 50</i>
7	372	Relay GI PLN	8,835	<i>Phase - OCI - 51</i>
8	372	Relay GI PLN2	8,835	<i>Phase - OCI - 51</i>

Gambar 4.32 menunjukkan kurva TCC *Existing* gangguan fasa Tipikal 2. Pada kurva TCC di gambar 4.32 ada beberapa kesalahan yaitu:

- a. Lingkaran 1 : Pada lingkaran 1 terlihat selisih waktu tunda antara rele masih di bawah standar yaitu 0,02 detik, 0,01 detik dan 0,025 detik.
- b. Lingkaran 2 : Pada arah panah dalam lingkaran 2 terdapat kurva F50-CB37 yang memotong kurva Relay 4 sehingga rele tidak bisa bekerja secara selektif dalam melokalisasi gangguan, karena rele 4 akan aktif lebih dulu ketika terjadi gangguan.
- c. Lingkaran 3 : Panah pada lingkaran 3 bagian atas menunjukkan titik *inrush* trafo MCC SS-T1 sedangkan panah bagian bawah menunjukkan kurva Relay 5. Terlihat pada gambar kurva Relay 5 berada di bawah titik *inrush* trafo sehingga rele akan bekerja ketika dilakukan penyalaan (*energized*) pada trafo.
- d. Lingkaran 4 : Seperti pada kasus di lingkaran 3, pada lingkaran ini terlihat F50-MVS31A-CB berada di bawah titik *inrush* current trafo MVS31-T31A sehingga menyebabkan rele tersebut aktif saat trafo MVS31-T31A melakukan *energized*.
- e. Lingkaran 5 : Pada lingkaran ini terlihat kurva F50-MVS31A-CB dan F50-CB37 sebagai rele pelindung trafo MVS31-T31A memiliki arus *pick up* disebelah kiri FLA trafo sehingga rele akan aktif ketika trafo bekerja dalam keadaan maksimal



**Gambar 4.32** Kurva TCC *Existing* Gangguan Fasa Tipikal 2

Berdasarkan kesalahan yang terjadi pada kondisi *existing* maka perlu diadakan perhitungan *setting* rele ulang pada tipikal 2 seperti berikut :

#### a. Rele Relay 5

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 300/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 7,22 kA
Isc kontribusi minimum	: 4,48 kA
FLA	: 218,7 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 218,7 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 218,7$$

$$229,635 < I_{\text{set}} < 306,18$$

$$\frac{229,635}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{306,18}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{229,635}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{306,18}{100} \text{ In}$$

$$0,7654 < \text{Tap} < 1,0206$$

Di pilih Tap 0,8 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,8 \times 300 = 240 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{1}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi ( $t$ ) = 0, detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,1 \cdot \left[ \left( \frac{7220}{240} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,448$$

Di pilih  $T_d = 0,5$

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{\text{sc max}} \text{ kontribusi sekunder trafo} \cdot \frac{0,4}{6,6} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$39130 \cdot \frac{0,4}{6,6} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 4480$$

$$2371,5 < I_{\text{set}} < 3584$$

$$\frac{2371,5}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3584}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{2371,5}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3584}{300} \text{ In}$$

$$7,905 \text{ In} < \text{Tap} < 11,9467 \text{ In}$$

Di pilih Tap 9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 9 \times 300 = 2700 \text{ A}$$

### Time Delay

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

#### **b. Rele Relay 4**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 300/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 7,22 kA
Isc kontribusi minimum	: 4,48 kA
FLA	: 350,28A

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 350,28 < I_{set} < 1,4 \cdot 350,28$$

$$367,794 < I_{set} < 490,392$$

$$\frac{367,794}{\text{Primer CT}} I_n < \text{Tap} < \frac{490,392}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\frac{367,794}{300} I_n < \text{Tap} < \frac{490,392}{300} I_n$$

$$1,226 I_n < \text{Tap} < 1,63 I_n$$

Di pilih Tap 1,25  $I_n$  (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 1,25 \times 300 = 375 \text{ A}$$

### Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi ( $t$ ) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,3 \cdot \left[\left(\frac{7220}{375}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,388$$

Di pilih  $T_d = 0,8$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot \text{Isc min}$$

$$1,6 \cdot 350,28 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 4480$$

$$560,448 < I_{\text{set}} < 3584$$

$$\frac{560,448}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3584}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{560,448}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3584}{300} \text{ In}$$

$$1,87 \text{ In} < \text{Tap} < 11,9467 \text{ In}$$

Di pilih Tap 10 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 10 \times 300 = 3000 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

#### c. **Rele F50-MVS31A-CB**

Manufaktur : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

Kurva : Standar Inverse

Rasio CT : 1250/5 A

Isc kontribusi maksimum : 6,19 kA

Isc kontribusi minimum : 4,48 kA

FLA : 656,1A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 656,1 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 656,1$$

$$688,905 < I_{\text{set}} < 918,54$$

$$\frac{688,905}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{918,54}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{688,905}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{918,54}{1250} \text{ In}$$

$$0,5511 \text{ In} < \text{Tap} < 0,7348 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,6 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,6 \times 1250 = 750 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,5 \cdot \left[ \left( \frac{6190}{750} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,4573$$

Di pilih  $T_d = 0,7$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot FLA < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \min}$$

$$1,6 \cdot 656,1 < I_{set} < 0,8 \cdot 4480$$

$$1049,76 < I_{set} < 3584$$

$$\frac{1049,76}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3584}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{1049,76}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3584}{1250} \text{ In}$$

$$0,839 \text{ In} < \text{Tap} < 2,8672 \text{ In}$$

Di pilih Tap 2,7 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 2,7 \times 300 = 3375 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,5 detik

### **d. Rele F50-CB37**

Manufaktur : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

Kurva : Standar Inverse

Rasio CT : 300/5 A

Isc kontribusi maksimum : 6,01 kA

Isc kontribusi minimum : 3,3 kA

FLA : 216,5 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 216,5 < I_{set} < 1,4 \cdot 216,5$$

$$227,325 < I_{set} < 303,1$$

$$\frac{227,325}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{303,1}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{227,325}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{303,1}{300} \text{ In}$$

$$0,75775 \text{ In} < \text{Tap} < 1,0103 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,85 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,85 \times 300 = 255 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,1 \cdot \left[ \left( \frac{6010}{255} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,13839$$

Di pilih  $T_d = 0,7$

### **Instantaneous Pickup**

$$I_{\text{sc max}} \text{ kontribusi sekunder trafo} \cdot \frac{6,6}{20} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$6210 \cdot \frac{6,6}{20} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 3300$$

$$2049,3 < I_{\text{set}} < 2640$$

$$\frac{2049,3}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2640}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{2049,3}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2640}{300} \text{ In}$$

$$6,831 \text{ In} < \text{Tap} < 8,8 \text{ In}$$

Di pilih Tap 8,3 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 8,3 \times 300 = 2490 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

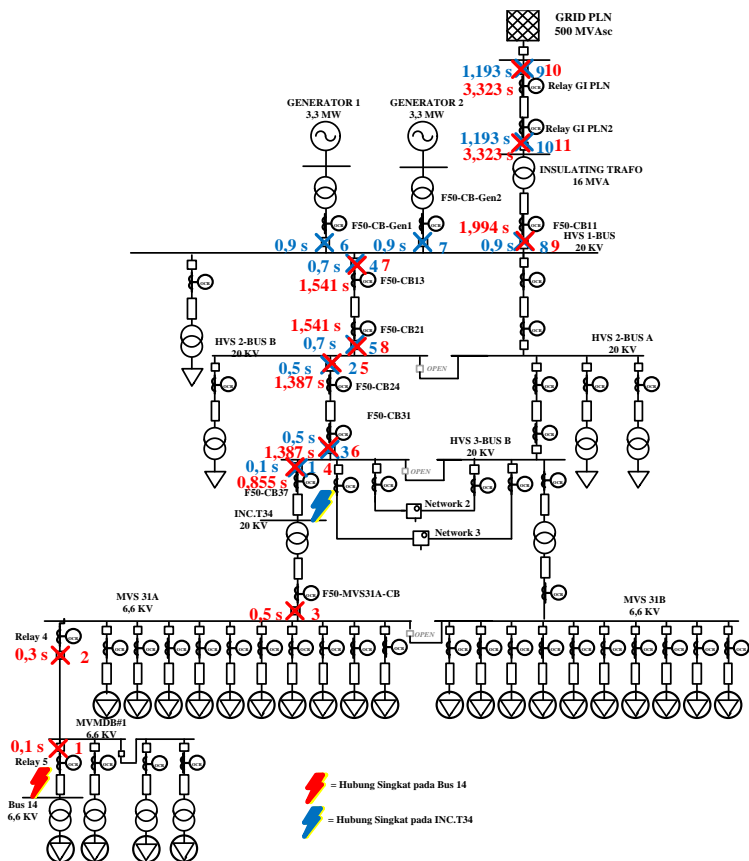
Dari hasil perhitungan di atas didapatkan hasil seperti pada tabel 4.28 yang kemudian akan digunakan untuk melakukan simulasi *resetting* koordinasi rele.



**Tabel 4.28** Data *Resetting* Rele Gangguan Fasa Tipikal 2

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
Relay 5	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,8 (240 A)
		<i>Time Dial</i>	0,5
		<i>Pickup Highset</i>	9(2700 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
Relay 4	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,25 (375 A)
		<i>Time Dial</i>	0,8
		<i>Pickup Highset</i>	10 (3000 A)
		<i>Time Delay</i>	0,3
F50-MVS31A-CB	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,6 (750 A)
		<i>Time Dial</i>	0,7
		<i>Pickup Highset</i>	2,7(3375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,5
F50-CB37	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,85 (255 A)
		<i>Time Dial</i>	0,7
		<i>Pickup Highset</i>	8,3 (2490A)
		<i>Time Delay</i>	0,1

Pada gambar 4.33 berikut akan ditampilkan hasil simulasi koordinasi rele ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada tipikal 2. Warna merah menunjukkan hasil *sequence of operation* ketika terjadi hubung singkat pada bus 14 dan warna biru menunjukkan hasil ketika terjadi hubung singkat pada bus INC. T34. Urutan kerja rele pada gambar sudah dikatakan benar. Sedangkan waktu tunda dapat di lihat lebih jelas pada tabel 4.29.



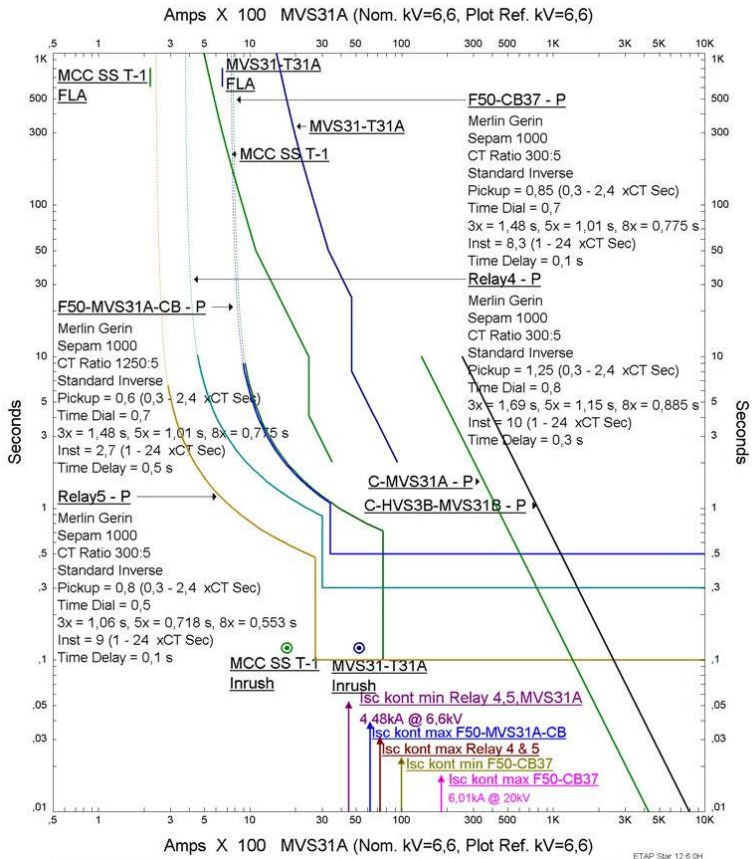
**Gambar 4.33** *Sequence of Operation Resetting Rele Tipikal 2*

**Tabel 4.29** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 2

Lokasi Hubung Singkat : Bus 14				
No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	Relay5	5,105	<i>Phase - OC1 – 50</i>
2	300	Relay4	5,105	<i>Phase - OC1 – 50</i>
3	500	F50-MVS31A-CB	5,105	<i>Phase - OC1 – 50</i>
4	855	F50-CB37	1,685	<i>Phase - OC1 – 51</i>
5	1387	F50-CB24	1,685	<i>Phase - OC1 – 51</i>
6	1387	F50-CB31	1,685	<i>Phase - OC1 – 51</i>
7	1541	F50-CB13	1,685	<i>Phase - OC1 – 51</i>
8	1541	F50-CB21	1,685	<i>Phase - OC1 – 51</i>
9	1994	F50-CB11	1,402	<i>Phase - OC1 – 51</i>
10	3323	Relay GI PLN	1,402	<i>Phase - OC1 – 51</i>
11	3323	Relay GI PLN2	1,402	<i>Phase - OC1 – 51</i>
Lokasi Hubung Singkat : Bus INC.T34				
No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	F50-CB37	3,700	<i>Phase - OC1 – 50</i>
2	500	F50-CB24	3,700	<i>Phase - OC1 – 50</i>
3	500	F50-CB31	3,700	<i>Phase - OC1 – 50</i>
4	700	F50-CB13	3,700	<i>Phase - OC1 – 50</i>
5	700	F50-CB21	3,700	<i>Phase - OC1 – 50</i>
6	900	F50-CB-GEN1	0,312	<i>Phase - OC1 – 50</i>
7	900	F50-CB-GEN2	0,312	<i>Phase - OC1 – 50</i>
8	900	F50-CB11	3,080	<i>Phase - OC1 – 50</i>
9	1193	Relay GI PLN	3,080	<i>Phase - OC1 – 51</i>
10	1193	Relay GI PLN2	3,080	<i>Phase - OC1 – 51</i>

Pada tabel 4.29 dapat di lihat selisih waktu *trip* sudah benar karena berada pada rentang waktu 0,2 detik sampai 0,4 detik.

Pada gambar 4.34 ditampilkan kurva tcc untuk mempermudah analisa koordinasi rele pada tipikal 2 ini.

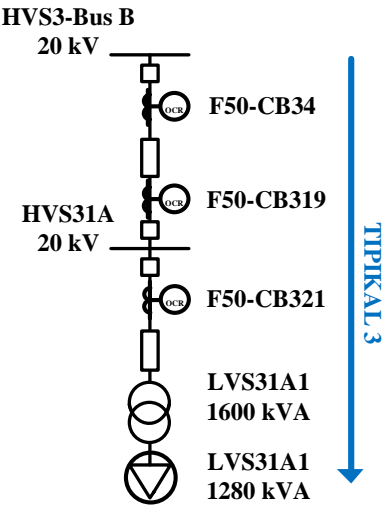


**Gambar 4.34** Kurva TCC Resetting Gangguan Fasa Tipikal 2

Dari kurva di atas dapat dilihat sudah tidak ada rele yang saling memotong. Arus *pick up* rele juga berada pada sebelah kanan FLA trafo sehingga trafo dapat bekerja sampai pada arus *full load*. Kurva Relay 5 sudah berada disebelah kanan arus *inrush* trafo MCC SS T-1 dan kurva F50-MVS31A-CB sudah berada disebelah kanan titik *inrush* trafo MVS31-T31A sehingga trafo dapat melakukan *energized*.

4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3

Pada gambar 4.35 di bawah di merupakan *single line diagram* rele fasa tipikal 3.



**Gambar 4.35** *Single Line Diagram* Gangguan Fasa Tipikal 3

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele kondisi *existing* maka pada tabel 4.30 berikut ditunjukkan data *existing* rele tipikal 3.

**Tabel 4.30** Data *Existing* Rele Gangguan Fasa Tipikal 3

ID rele	CT Ratio	Setting	
F50-CB321	50/5	Pickup Lowset	0,9 (45 A)
		Time Dial	0,14
		Pickup Highset	9 (450 A)
		Time Delay	0,05
F50-CB319	300/5	Pickup Lowset	0,5 (150A)
		Time Dial	0,15
		Pickup Highset	2 (600 A)
		Time Delay	0,07

**Tabel 4.30** Data *Existing* Rele Gangguan Fasa Tipikal 3 (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB34	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,6 (180 A)
		<i>Time Dial</i>	0,16
		<i>Pickup Highset</i>	2,4 (660 A)
		<i>Time Delay</i>	0,09

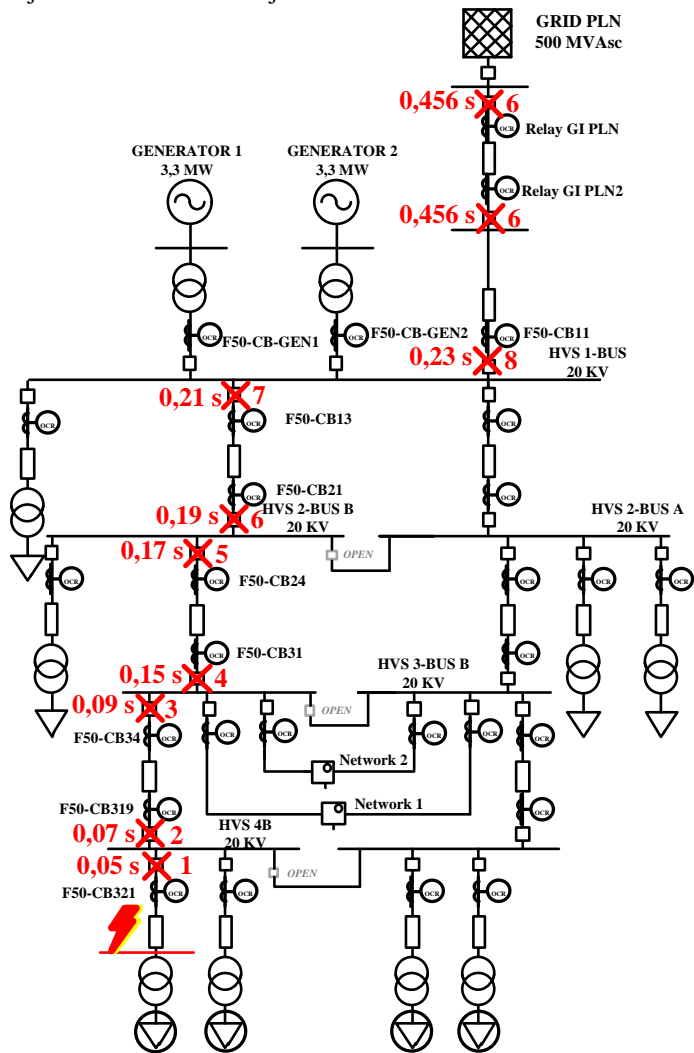
Dari data *existing* yang ada didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada gambar 4.31 berikut.

**Tabel 4.31** *Sequence of Operation Existing* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 3

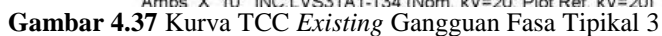
No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	50,0	F50-CB321	7,682	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	70,0	F50-CB319	7,682	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	90,0	F50-CB34	7,682	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	150	F50-CB31	7,682	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	170	F50-CB24	7,682	<i>Phase - OC1 - 50</i>
6	190	F50-CB21	7,682	<i>Phase - OC1 - 50</i>
7	210	F50-CB13	7,682	<i>Phase - OC1 - 50</i>
8	230	F50-CB11	7,314	<i>Phase - OC1 - 50</i>
9	456	Relay GI PLN	7,314	<i>Phase - OC1 - 51</i>
10	456	Relay GI PLN2	7,314	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Pada tabel 4.31 dapat di lihat selisih waktu tunda masih kurang benar karena antara satu rele dengan rele lainnya akan *trip* hanya dalam waktu kurang dari 0,2 detik sehingga menimbulkan *trip* rele secara bersamaan di tipikal 3 ini. Pada gambar 4.36 ditampilkan urutan kerja rele. Pada tipikal 3 ini urutan kerja rele sudah benar yaitu di mulai dari

rele sisi sumber yang paling dekat dengan sisi gangguan (F50-CB321) dilanjutkan berurutan menuju sumber.



**Gambar 4.36** *Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 3*



123



perlu diadakan perhitungan *setting* rele ulang pada tipikal 3 seperti berikut :

**a. Rele F50-CB321**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 50/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 5,78 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,12 kA
FLA	: 46,19 A

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 46,19 < I_{set} < 1,4 \cdot 46,19$$

$$48,4995 < I_{set} < 64,666$$

$$\frac{48,4995}{\text{Primer CT}} I_n < \text{Tap} < \frac{64,666}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\frac{48,4995}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{64,666}{50} I_n$$

$$0,9699 I_n < \text{Tap} < 1,2933 I_n$$

Di pilih Tap 1 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 1 \times 50 = 50 \text{ A}$$

**Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,1 \cdot \left[ \left( \frac{5780}{50} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,21142$$

Di pilih  $T_d = 0,6$

### **Instantaneous Pickup**

Isc max kontribusi sekunder trafo .  $\frac{0,4}{20} < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \text{ min}}$

$$34060 \cdot \frac{0,4}{20} < I_{set} < 0,8 \cdot 3120$$

$$681,2 < I_{set} < 2496$$

$$\frac{681,2}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2496}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{681,2}{50} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2496}{50} \text{ In}$$

$$13,624 \text{ In} < \text{Tap} < 49,92 \text{ In}$$

Di pilih Tap 13,3 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 13,3 \times 50 = 665 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

#### **b. Rele F50-CB319**

Manufaktur : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

Kurva : Standar Inverse

Rasio CT : 300/5 A

Isc kontribusi maksimum : 6,05 kA

Isc kontribusi minimum : 3,21 kA

FLA : 69,28 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{set} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 69,28 < I_{set} < 1,4 \cdot 69,28$$

$$72,744 < I_{set} < 96,992$$

$$\frac{72,744}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{96,992}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{72,744}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{96,992}{300} \text{ In}$$

$$0,24 \text{ In} < \text{Tap} < 0,323 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,3 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 0,3 \times 300 = 90 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{1}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,3 \cdot \left[ \left( \frac{6050}{90} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,5588$$

Di pilih  $T_d = 0,6$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot FLA < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \min}$$

$$1,6 \cdot 69,28 < I_{set} < 0,8 \cdot 3210$$

$$110,848 < I_{set} < 2568$$

$$\frac{110,848}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2568}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{110,848}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2568}{300} \text{ In}$$

$$0,369 \text{ In} < \text{Tap} < 8,56 \text{ In}$$

Di pilih Tap 2,2 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 2,2 \times 300 = 660 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

### **c. Rele F50-CB34**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 300/5 A
I <sub>sc</sub> kontribusi maksimum	: 6,05 kA
I <sub>sc</sub> kontribusi minimum	: 3,21 kA
FLA	: 69,28 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 69,28 < I_{set} < 1,4 \cdot 69,28$$

$$72,744 < I_{set} < 96,992$$

$$\frac{72,744}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{96,992}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{72,744}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{96,992}{300} \text{ In}$$

$$0,24 \text{ In} < \text{Tap} < 0,323 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,3 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,3 \times 300 = 90 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{1}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,3 \cdot \left[ \left( \frac{6050}{90} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,5588$$

Di pilih  $T_d = 0,6$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \cdot 69,28 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 3210$$

$$110,848 < I_{\text{set}} < 2568$$

$$\frac{110,848}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2568}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{110,848}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2568}{300} \text{ In}$$

$$0,369 \text{ In} < \text{Tap} < 8,56 \text{ In}$$

Di pilih Tap 2,2 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 2,2 \times 300 = 660 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

Dari perhitungan di atas didapatkan data *setting* baru untuk rele-rele yang berada pada tipikal 3 seperti pada tabel 4.32 berikut.

**Tabel 4.32** Data *Resetting* Rele Gangguan Fasa Tipikal 3

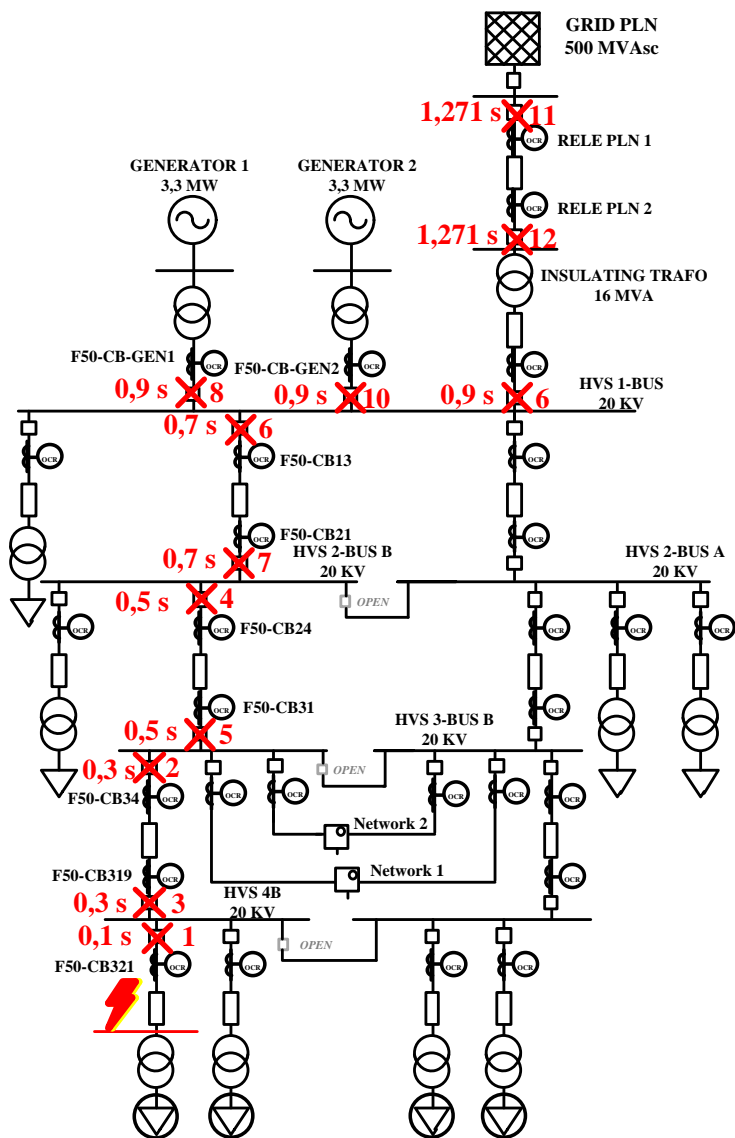
<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB321	50/5	<i>Pickup Lowset</i>	1 (50 A)
		<i>Time Dial</i>	0,6
		<i>Pickup Highset</i>	13,3 (665 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
F50-CB319	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (900 A)
		<i>Time Dial</i>	0,6
		<i>Pickup Highset</i>	2,2 (660 A)
		<i>Time Delay</i>	0,3
F50-CB34	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3 (900 A)
		<i>Time Dial</i>	0,6
		<i>Pickup Highset</i>	2,2 (660 A)
		<i>Time Delay</i>	0,3

Data yang didapat pada tabel 4.32 digunakan untuk melakukan simulasi ulang keadaan *resetting* sehingga didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada tabel 4.33 dan urutan kerja rele seperti pada gambar 4.38.

**Tabel 4.33** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 3

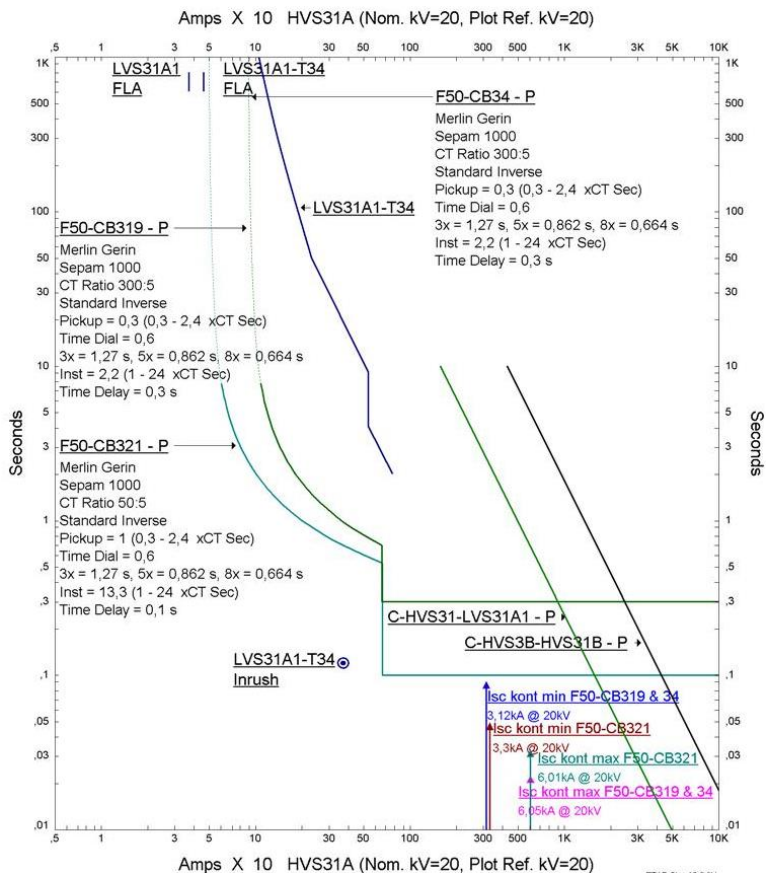
No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	F50-CB321	3,508	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	300	F50-CB34	3,508	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	300	F50-CB319	3,508	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	500	F50-CB24	3,508	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	500	F50-CB31	3,508	<i>Phase - OC1 - 50</i>
6	700	F50-CB21	3,508	<i>Phase - OC1 - 50</i>
7	700	F50-CB13	3,508	<i>Phase - OC1 - 50</i>
8	900	F50-CB-GEN1	0,296	<i>Phase - OC1 - 50</i>
9	900	F50-CB-GEN2	0,296	<i>Phase - OC1 - 50</i>
10	900	F50-CB11	2,92	<i>Phase - OC1 - 50</i>
11	1271	Relay GI PLN	2,92	<i>Phase - OC1 - 51</i>
12	1271	Relay GI PLN2	2,92	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Pada tabel di atas selisih waktu tunda antar rele sebesar 0,2 detik sehingga dapat dikatakan *setting* waktu rele sudah benar. Sedangkan urutan kerja rele dapat di lihat seperti pada gambar 4.38. Pada gambar rele bekerja sudah secara berurutan namun urutan nomor 2 dan 3 terbalik dari sumber ke beban, hal ini tidak dipermasalahkan karena waktu *trip* ketiga rele sama dan urutan *trip* pada simulasi di mulai berdasarkan abjad. Hal yang sama berlaku pada rele dengan urutan 4 dan 5.



**Gambar 4.38** *Sequence of Operation Resetting Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 3*

Pada gambar 4.39 di bawah dapat di lihat selisih waktu kerja rele sudah benar yaitu sebesar 0,2 detik. Rele F50-CB34 dan F50-CB319 digambarkan berhimpit dalam satu garis hal ini disebabkan *setting* rele pada kedua rele ini sama. Hal ini diperbolehkan karena kedua rele sama-sama melindungi bus HVS4B. Selain itu tindakan ini juga bertujuan untuk menghindari *setting* waktu yang terlalu tinggi pada sisi sumber.

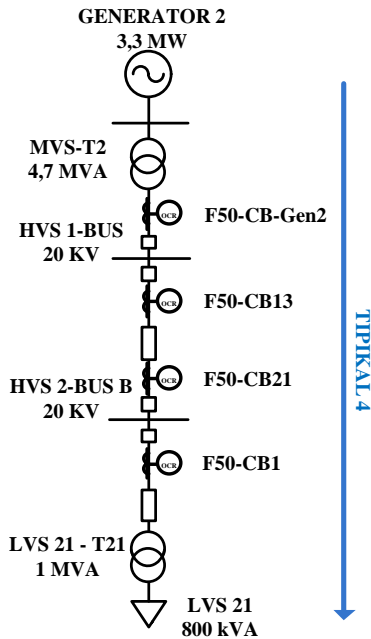


**Gambar 4.39** Kurva TCC *Resetting* Gangguan Fasa Tipikal 3



4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4

Pada gambar 4.40 di bawah di merupakan *single line diagram* tipikal 4.



Gambar 4.40 Single Line Diagram Gangguan Fasa Tipikal 4

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele kondisi *existing* maka pada tabel 4.34 berikut ditunjukkan data *existing* rele tipikal 4.

Tabel 4.34 Data Existing Rele Gangguan Fasa Tipikal 4

ID rele	CT Ratio	Setting	
F50-CB1	50/5	Pickup Lowset	0,56(28 A)
		Time Dial	0,13
		Pickup Highset	5,4(270 A)
		Time Delay	0,05

**Tabel 4.34** Data *Existing* Rele Gangguan Fasa Tipikal 4 (lanjutan)

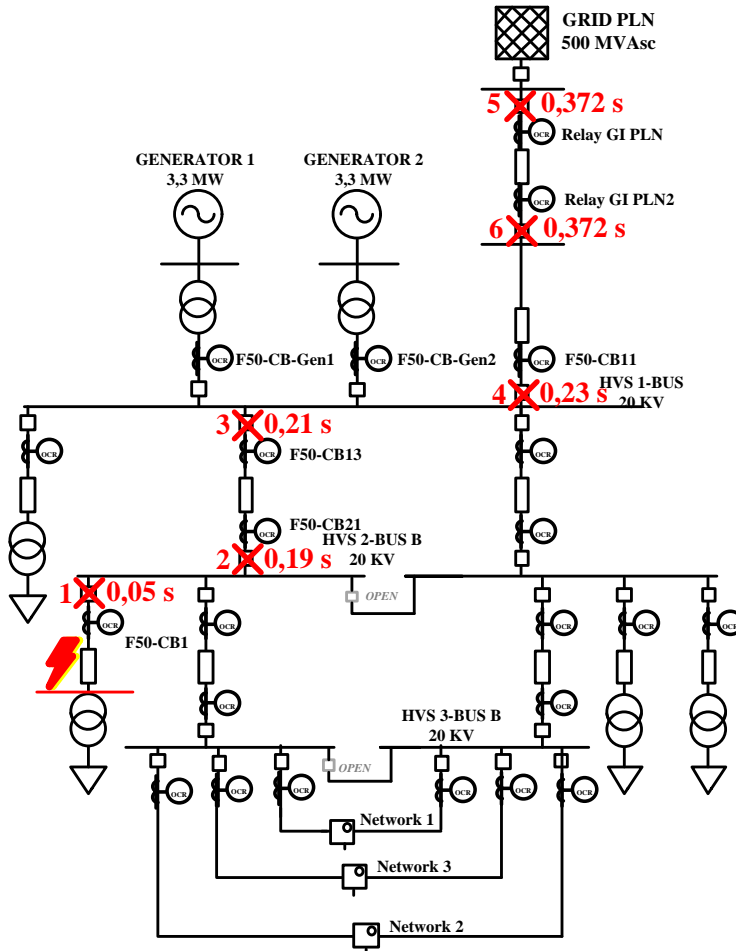
<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB21	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,48 (600 A)
		<i>Time Dial</i>	0,33
		<i>Pickup Highset</i>	3 (3750 A)
		<i>Time Delay</i>	0,19
F50-CB13	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,5 (625 A)
		<i>Time Dial</i>	0,35
		<i>Pickup Highset</i>	3,2 (4000 A)
		<i>Time Delay</i>	0,21
F50-CB-Gen2	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,66 (900 A)
		<i>Time Dial</i>	0,6
		<i>Pickup Highset</i>	1,32 (660 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1

Dari data *existing* yang ada didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada gambar 4.35 berikut.

**Tabel 4.35** *Sequence of operation Existing* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 4

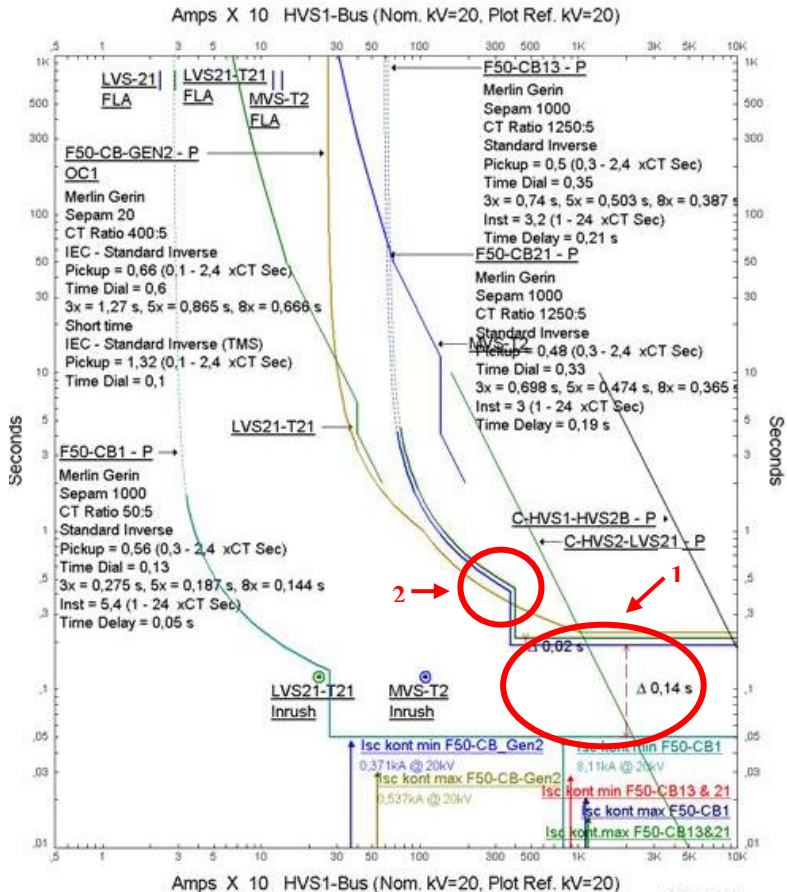
No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	50,0	F50-CB1	9,298	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	190	F50-CB21	9,298	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	210	F50-CB13	9,298	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	230	F50-CB11	8,853	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	372	Relay GI PLN	8,853	<i>Phase - OC1 - 51</i>
6	372	Relay GI PLN2	8,853	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Pada tabel 4.35 dapat di lihat selisih waktu tunda antar rele masih salah karena kurang dari batas minimum waktu tunda yaitu 0,2 detik. Sedangkan urutan kerja rele dapat di lihat pada gambar 4.41 berikut.



**Gambar 4.41** *Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 4*

Pada gambar 4.41 urutan kerja rele sudah benar, namun kesalahan kinerja rele terdapat pada waktu tunda yang di pilih seperti yang terlihat pada tabel 4.35 di atas.



**Gambar 4.42** Kurva TCC *Existing* Gangguan Fasa Tipikal 4

Untuk mengevaluasi kinerja rele pada gambar 4.42 berikut merupakan kurva tcc tipikal 4 keadaan *existing*. Pada kurva didapatkan beberapa kesalahan antara lain sebagai berikut :

- a. Lingkaran 1: Pada lingkaran ini dapat di lihat selisih waktu tunda antar rele masih kurang benar karena kurang dari 0,2 detik.
- b. Lingkaran 2: Pada lingkaran ini dapat di lihat rele F50-CB-Gen2 memotong rele F50-CB13 dan F50-CB 21, hal ini dapat menyebabkan rele tidak bisa bekerja secara selektif dalam melokalisir gangguan, karena rele F50-CB-Gen2 akan aktif lebih dulu ketika terjadi gangguan.

Berdasarkan kesalahan yang terjadi pada kondisi *existing* maka perlu diadakan perhitungan *setting* rele ulang pada tipikal 4 seperti berikut :

**a. Rele F50-CB1**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 50/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 6,42 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,34 kA
FLA	: 28,87 A

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 28,87 < I_{set} < 1,4 \cdot 28,87$$

$$30,3135 < I_{set} < 40,418$$

$$\frac{30,3135}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{40,418}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{30,3135}{50} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{40,418}{50} \text{ In}$$

$$0,606 \text{ In} < \text{Tap} < 0,808 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,65 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 0,65 \times 50 = 32,5 \text{ A}$$

**Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,1 \cdot \left[ \left( \frac{6420}{32,5} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,2365$$

Di pilih  $T_d = 0,8$

### **Instantaneous Pickup**

$I_{sc \max}$  kontribusi sekunder trafo  $\cdot \frac{0,4}{20} < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \min}$

$$26500 \cdot \frac{0,4}{20} < I_{set} < 0,8 \cdot 3340$$

$$530 < I_{set} < 2672$$

$$\frac{530}{\text{Primer CT}} I_n < \text{Tap} < \frac{2672}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\frac{530}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{2672}{50} I_n$$

$$10,6 I_n < \text{Tap} < 53,44 I_n$$

Di pilih Tap 10,7 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{set} = 10,7 \times 50 = 535 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

## **b. Rele F50-CB21**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 5,64 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,42 kA
FLA	: 458,87 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{set} < 1,4 \cdot \text{FLA}$$

$$1,05 \cdot 458,87 < I_{set} < 1,4 \cdot 458,87$$

$$481,81 < I_{set} < 642,42$$

$$\frac{481,81}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{642,42}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{481,81}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{642,42}{1250} \text{ In}$$

$$0,3854 < \text{Tap} < 0,5139$$

Di pilih Tap 0,4 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{\text{set}} = 0,4 \times 1250 = 500 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,7 \cdot \left[ \left( \frac{5640}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,7373$$

Di pilih  $T_d = 0,8$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \cdot 458,87 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 3420$$

$$734,2 < I_{\text{set}} < 2736$$

$$\frac{734,2}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2736}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{734,2}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2736}{1250} \text{ In}$$

$$0,587 \text{ In} < \text{Tap} < 2,188 \text{ In}$$

Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,7 detik

#### **c. Relé F50-CB13**

Manufaktur

: MERLIN GERIN

Model

: SEPAM 1000

Kurva	: Standar Inverse
Rasio CT	: 1250/5 A
Isc kontribusi maksimum	: 5,64 kA
Isc kontribusi minimum	: 3,42 kA
FLA	: 458,87 A

### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \cdot FLA < I_{set} < 1,4 \cdot FLA$$

$$1,05 \cdot 458,87 < I_{set} < 1,4 \cdot 458,87$$

$$481,81 < I_{set} < 642,42$$

$$\frac{481,81}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{642,42}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{481,81}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{642,42}{1250} \text{ In}$$

$$0,3854 < \text{Tap} < 0,5139$$

Di pilih Tap 0,4 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)

$$I_{set} = 0,4 \times 1250 = 500 \text{ A}$$

### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{1}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,7 \cdot \left[ \left( \frac{5640}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,7373$$

Di pilih  $T_d = 0,8$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \cdot FLA < I_{set} < 0,8 \cdot I_{sc \min}$$

$$1,6 \cdot 458,87 < I_{set} < 0,8 \cdot 3420$$

$$734,2 < I_{set} < 2736$$

$$\frac{734,2}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2736}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{734,2}{1250} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2736}{1250} \text{ In}$$



$0,587 \text{ In} < \text{Tap} < 2,188 \text{ In}$   
 Di pilih Tap 1,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)  
 $I_{\text{set}} = 1,9 \times 1250 = 2375 \text{ A}$

#### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,7 detik

#### **d. Rele F50-CB-Gen2**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
 Model : SEPAM 20  
 Kurva : Standar Inverse  
 Rasio CT : 400/5 A  
 Isc kontribusi maksimum : 0,537 kA  
 Isc kontribusi minimum : 0,369 kA  
 FLA : 135,7 A

#### **Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \cdot \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot \text{FLA}$   
 $1,05 \cdot 135,7 < I_{\text{set}} < 1,4 \cdot 135,7$   
 $142,485 < I_{\text{set}} < 189,98$   
 $\frac{142,485}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{189,98}{\text{Primer CT}} \text{ In}$   
 $\frac{142,485}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{189,98}{400} \text{ In}$   
 $0,356 \text{ In} < \text{Tap} < 0,475 \text{ In}$   
 Di pilih Tap 0,4 In (*Range* 0,3 – 2,4 dengan *step* 0,05)  
 $I_{\text{set}} = 0,4 \times 400 = 160 \text{ A}$

#### **Time Dial**

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

Di pilih waktu operasi (t) = 0,9 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \frac{T_d}{2,97}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot t \cdot \left[ \left( \frac{I_{\text{sc max}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{2,97 \cdot 0,9 \cdot \left[ \left( \frac{537}{160} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,468$$

Di pilih  $T_d = 0,7$

### **Instantaneous Pickup**

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \cdot 135,7 < I_{\text{set}} < 0,8 \cdot 369$$

$$217,12 < I_{\text{set}} < 295,2$$

$$\frac{217,12}{\text{Primer CT}} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{295,2}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\frac{217,12}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{295,2}{400} \text{ In}$$

$$0,5428 \text{ In} < \text{Tap} < 0,738 \text{ In}$$

Di pilih Tap 0,9 In (*Range* 1 – 24 dengan *step* 0,1)

$$I_{\text{set}} = 0,7 \times 400 = 280 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,9 detik

Dari perhitungan di atas didapatkan data *setting* baru untuk rele-rele yang berada pada tipikal 4 seperti pada tabel 4.36 berikut.

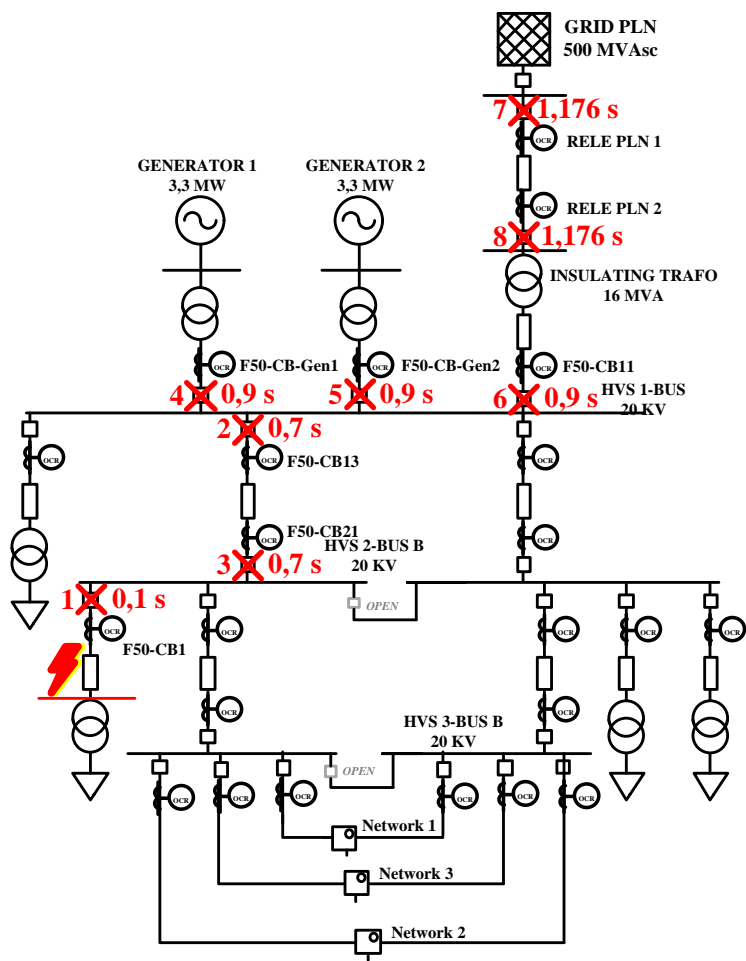
**Tabel 4.36** Data *Resetting* Rele Gangguan Fasa Tipikal 4

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB1	50/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,65 (32,5 A)
		<i>Time Dial</i>	0,8
		<i>Pickup Highset</i>	10,7 (535 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
F50-CB21	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,4 (500 A)
		<i>Time Dial</i>	0,7
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,7
F50-CB13	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,4 (500 A)
		<i>Time Dial</i>	0,7
		<i>Pickup Highset</i>	1,9 (2375 A)
		<i>Time Delay</i>	0,7
F50-CB-Gen2	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,4 (160 A)
		<i>Time Dial</i>	0,7
		<i>Pickup Highset</i>	0,7 (280 A)
		<i>Time Delay</i>	0,9

Data yang diperoleh pada tabel 4.36 digunakan untuk melakukan simulasi ulang keadaan *resetting* sehingga didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada tabel 4.37 dan urutan kerja rele seperti pada gambar 4.43.

Pada gambar 4.37 dapat di lihat urutan kerja rele sudah benar karena rele bekerja dari titik terdekat dari sumber gangguan menuju kemudian berlanjut secara berurutan kearah sumber. Urutan nomor 2 dan 3 terbalik dari sumber ke beban, hal ini tidak dipermasalahkan karena waktu *trip* kedua rele sama dan urutan *trip* pada simulasi di

mulai berdasarkan abjad. Sedangkan rele F50-CB-Gen1, F50-CB-Gen2 dan F50-CB11 memiliki waktu *trip* yang bersamaan diperbolehkan karena ketiga rele ini sama-sama mengamankan bus HVS1-Bus. Untuk melihat lebih jelas mengenai waktu kerja rele dapat di lihat pada tabel 4.37.



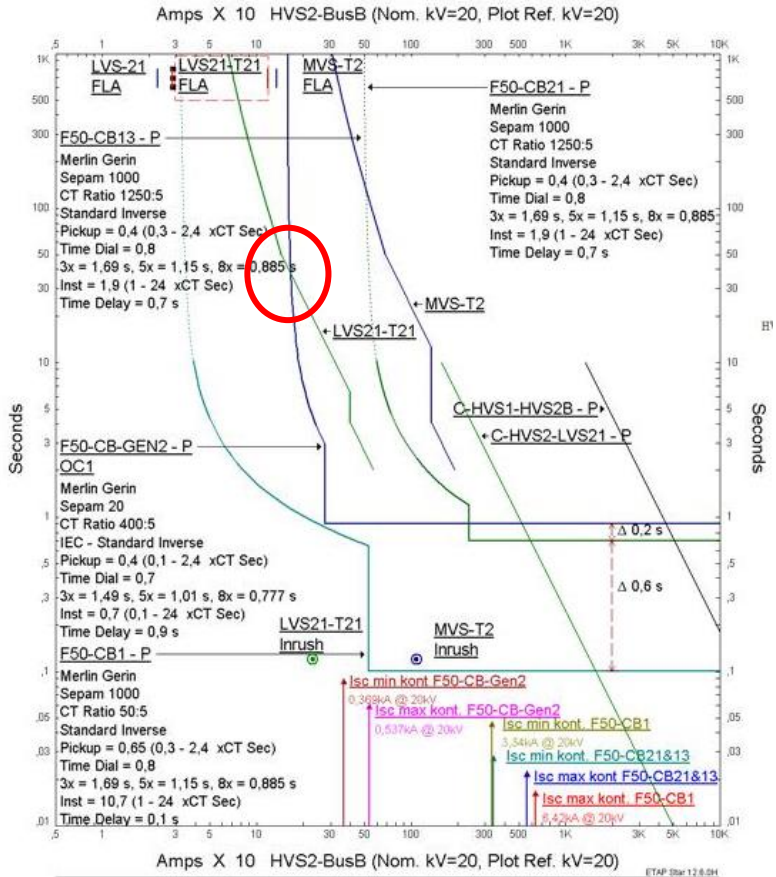
**Gambar 4.43** *Sequence of Operation Resetting Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 4*

**Tabel 4.37** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Tiga Fasa Tipikal 4

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	F50-CB1	3,745	<i>Phase - OC1 - 50</i>
2	700	F50-CB13	3,745	<i>Phase - OC1 - 50</i>
3	700	F50-CB21	3,745	<i>Phase - OC1 - 50</i>
4	900	F50-CB-GEN1	0,316	<i>Phase - OC1 - 50</i>
5	900	F50-CB-GEN2	0,316	<i>Phase - OC1 - 50</i>
6	900	F50-CB11	3,118	<i>Phase - OC1 - 50</i>
7	1176	Relay GI PLN	3,118	<i>Phase - OC1 - 51</i>
8	1176	Relay GI PLN2	3,118	<i>Phase - OC1 - 51</i>

Pada tabel di atas dapat dikatakan waktu kerja rele sudah benar karena selisih waktu kerja rele sudah benar. Untuk kurva TCC dapat di lihat seperti pada gambar 4.44. Pada kurva selisih waktu tunda rele sudah sesuai. Pada gambar 4.44 rele F50-CB21 dan F50-CB13 berhimpitan dalam satu garis diperbolehkan karena nilai *setting* rele kedua rele tersebut sama. *Setting* beberapa rele boleh disamakan apabila rele-rele tersebut memiliki *range* nilai arus *pick up* yang sama dan dalam satu garis tanpa adanya cabang (tersusun seri) seperti pada rele F50-CB21 dan F50-CB13. *Setting* rele juga bisa disamakan apabila digunakan pada beban dengan lokasi dan besar kapasitas yang sama.

Pada gambar 4.44 juga dapat di lihat ada beberapa kurva rele yang menabrak damage curve milik trafo, hal ini diperbolehkan karena rele yang menabrak damage curve tersebut bukan merupakan rele utama trafo. Misalnya pada lingkaran merah gambar 4.44 rele F50-CB-Gen2 menabrak damage curve trafo LVS21-T21, rele generator ini diperbolehkan menabrak kurva LVS21-T21 karena rele utama pelindung trafo adalah rele F50-CB1.



**Gambar 4.44** Kurva TCC Resetting Gangguan Fasa Tipikal 4

#### 4.5. Studi Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke Tanah

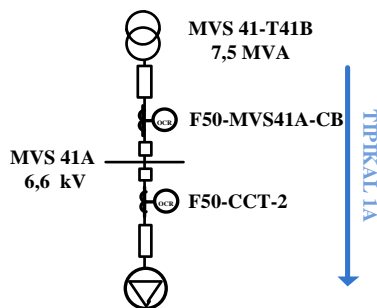
Pada sub bab 4.5 ini akan dibahas mengenai studi koordinasi rele fasa ke tanah dengan tipikal yang sama dengan studi koordinasi rele gangguan fasa pada sub bab 4.4.

##### 4.5.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal 1

Seperti pada tipikal 1 koordinasi arus lebih fasa ke tanah, pada tipikal 1 ini ada sepuluh rele yang diatur ulang mulai dari rele di bawah *insulating trafo* (F50-CB11) sampai rele pada beban terjauh dan terbesar di Network 4 (F50-CTT-2). Karena rele terlalu banyak maka tipikal 1 dibagi menjadi 3 yaitu tipikal 1A, tipikal 1B, dan tipikal 1C. Tipikal 1A di mulai dari bawah trafo MVS-41-T41B yaitu F50-MVS41A-CB sampai F50-CCT-2. Tipikal 1B di mulai dari rele bagian bawah HVS3-BusB yaitu F50-CB39 sampai bagian atas trafo MVS-41-T41B (F50-CB44). Tipikal 1C di mulai dari Relay PLN sampai bagian atas HVS3-BusB yaitu F50-CB31. Single line diagram tipikal 1 fasa ke tanah sama seperti single line tipikal 1 tiga fasa pada gambar 4.14. Dua rele yang berada di atas *insulating trafo* tidak di atur ulang pada tipikal karena kedua rele tersebut merupakan rele milik PT. PLN (Persero) dan PT. Terminal Teluk Lamong tidak mempunyai wewenang untuk mengatur ulang rele tersebut.

##### 4.5.1.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah Tipikal 1A

Pada gambar 4.45 di bawah di merupakan *single line diagram* tipikal 1A.



**Gambar 4.45** *Single Line Diagram* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1A

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele fasa ke tanah kondisi *existing* maka pada tabel 4.38 berikut ditunjukkan data *existing* rele tipikal 1A.

**Tabel 4.38** Data *Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1A

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CTT-2	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,1 (10 A)
		<i>Time Delay</i>	0,05
F50-MVS41A-CB	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,1 (125 A)
		<i>Time Delay</i>	0,07

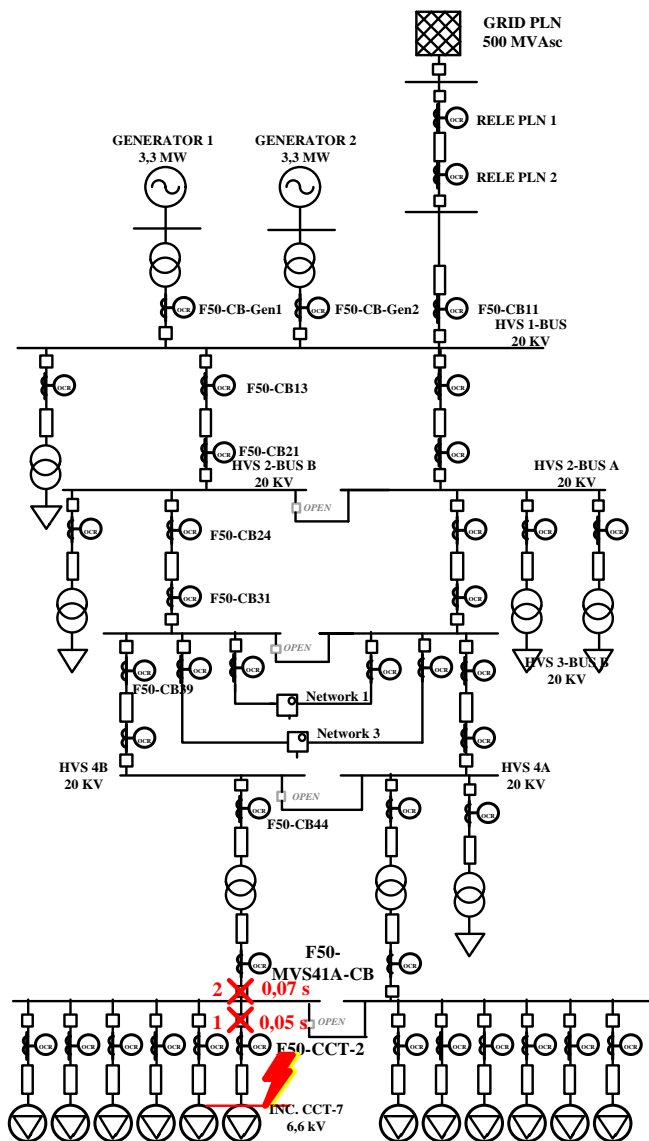
Dari data *existing* yang ada didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada tabel 4.39 dan urutan waktu kerja rele terlihat seperti pada gambar 4.46.

**Tabel 4.39** *Sequence of Operation Existing* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1A

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	50,0	F50-CCT-2	0,197	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	70,0	F50-MVS41A-CB	0,197	<i>Ground - OC1 - 50</i>

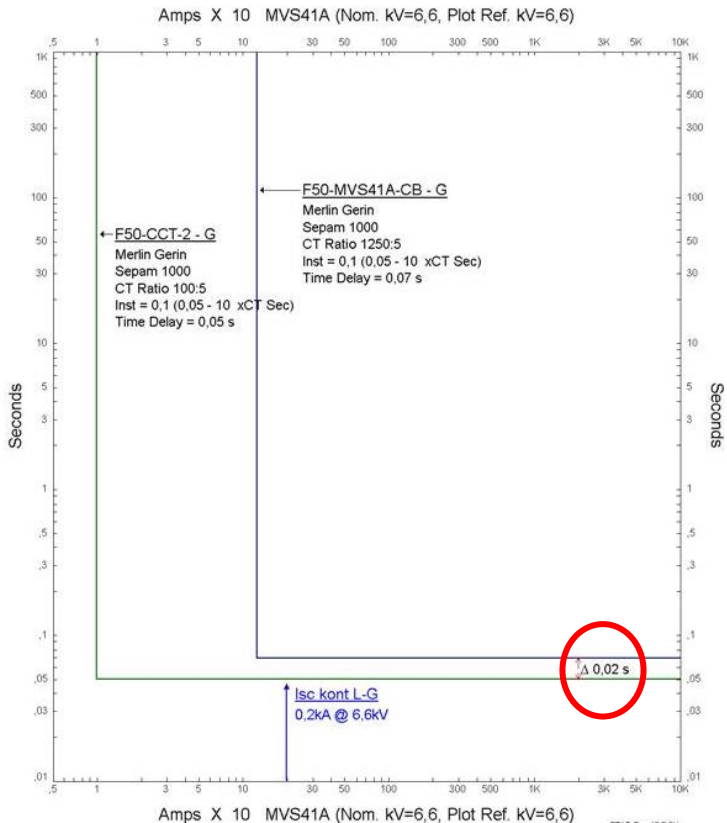
Pada tabel 4.39 di atas terlihat selisih waktu tunda antar rele hanya sebesar 0,02 detik sehingga dapat dikatakan *setting* waktu rele pada tipikal 1A masih salah. Untuk urutan waktu pada gambar 4.46 sudah benar karena rele aktif di mulai dari rele yang paling dekat dengan beban menuju ke arah sumber dan berhenti di bawah trafo.





**Gambar 4.46** *Sequence of Operation Existing Fasa ke Tanah Rele Tipikal 1A*

Untuk mengevaluasi kinerja rele pada gambar 4.48 berikut merupakan kurva TCC tipikal 1A keadaan *existing*. Pada kurva terdapat kesalahan yang ditunjukkan oleh lingkaran merah pada gambar 4.47 yaitu selisih waktu tunda antara rele yang hanya sebesar 0,02 detik sehingga kedua rele akan bekerja secara bersamaan ketika terjadi gangguan pada INC.CCT-7.



**Gambar 4.47** Kurva TCC *Existing* Fasa ke Tanah Tipikal 1A

Berdasarkan kesalahan yang terjadi pada kondisi *existing* maka perlu diadakan perhitungan *setting* rele ulang pada tipikal 1A seperti berikut :

**a. Rele F50-CCT-2**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} \text{ MVS41-T41B} = 200 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

$5-10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi} < I_{set} < 50\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$I_{set}$  di pilih  $10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$$I_{set} = 0,1 \cdot 200$$

$$I_{set} = 20$$

$$\text{Tap} = \frac{20}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{20}{20} I_n$$

$$\text{Tap} = 1 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{set} = 1 \times 20 = 20 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

**b. Rele F50-MVS41A-CB**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} \text{ MVS41-T41B} = 200 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

$5-10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi} < I_{set} < 50\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$I_{set}$  di pilih  $10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$$I_{set} = 0,1 \cdot 200$$

$$I_{set} = 20$$

$$\text{Tap} = \frac{20}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{20}{20} I_n$$

Tap = 1. In  
 Di pilih Tap In (*Range* 0,05 – 10)  
 $I_{set} = 1 \times 20 = 20 \text{ A}$

**Time Delay**

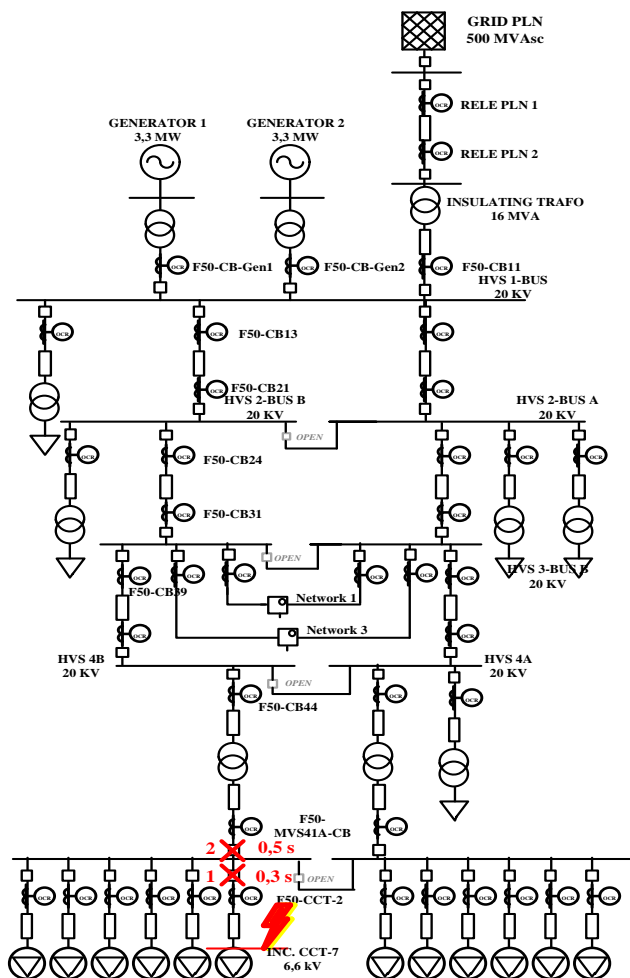
Di pilih *Time Delay* 0,5 detik

Dari perhitungan di atas didapatkan data *setting* baru untuk rele-rele yang berada pada tipikal 1A seperti pada tabel 4.40 berikut.

**Tabel 4.40** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1A

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CTT-2	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	1 (20 A)
		<i>Time Delay</i>	0,3
F50-MVS41A-CB	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	1 (20 A)
		<i>Time Delay</i>	0,5

Data yang didapat pada tabel 4.40 digunakan untuk melakukan simulasi ulang keadaan *resetting* sehingga didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada tabel 4.41 dan urutan kerja rele seperti pada gambar 4.48. Pada gambar 4.48 dapat di lihat urutan kerja rele sudah benar di mulai dengan rele paling dekat dengan sumber gangguan (F50-CCT-2) kemudian berlanjut ke rele di atasnya menuju sumber. Kerja rele hanya sampai pada F50-MVS41A-CB karena rele yang ada di atas trafo (F50-CB44) terpisahkan oleh belitan trafo dan belitan pada trafo primer merupakan belitan delta sehingga tidak terhubung dalam tanah. Maka arus hubung singkat ke tanah tidak akan mengganggu bagian primer trafo.



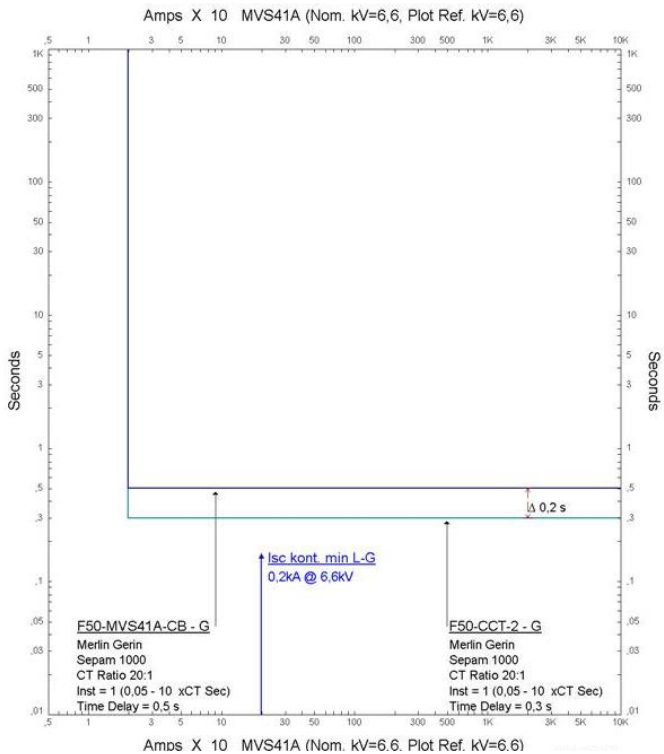
**Gambar 4.48** *Sequence of Operation Resetting Fasa ke Tanah Rele Tipikal 1A*

Pada tabel 4.41 di bawah ini dapat di lihat selisih waktu kerja rele sudah benar yaitu sebesar 0,2 detik. Arus gangguan sekitar 200 Ampere merupakan besaran arus NGR trafo MVS41-T41B.

**Tabel 4.41** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1A

No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	300	F50-CCT-2	0,197	Ground - OC1 - 50
2	500	F50-MVS41A-CB	0,197	Ground - OC1 - 50

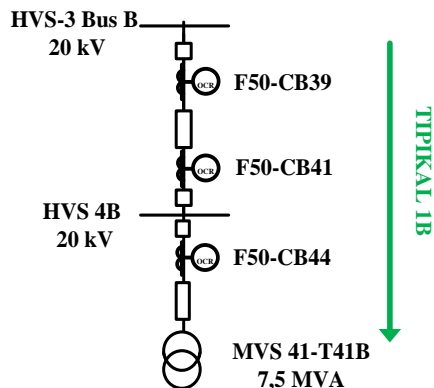
Kurva TCC gangguan fasa ke tanah pada tipikal 1A ini terlihat pada gambar 4.49. Pada gambar terlihat arus *pickup* yang di pilih pada kedua rele dibuat sama karena kedua rele sama-sama mendapatkan kontribusi arus hubung singkat dari NGR pada trafo MVS41-T41B. Selisih waktu tunda antara kedua rele sudah benar yaitu sebesar 0,2 detik.



**Gambar 4.49** Kurva TCC *Resetting* Fasa ke Tanah Tipikal 1A

#### 4.5.1.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah Tipikal 1B

Pada gambar 4.50 di bawah di merupakan *single line diagram* fasa ke tanah tipikal 1B



**Gambar 4.50** *Single Line Diagram* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele fasa ke tanah kondisi *existing* maka pada tabel 4.42 berikut ditunjukkan data *existing* rele tipikal 1B.

**Tabel 4.42** Data *Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB44	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,2 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,09
F50-CB41	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,1 (125 A)
		<i>Time Delay</i>	0,11

**Tabel 4.42** Data *Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB39	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,2 (250A)
		<i>Time Delay</i>	0,13

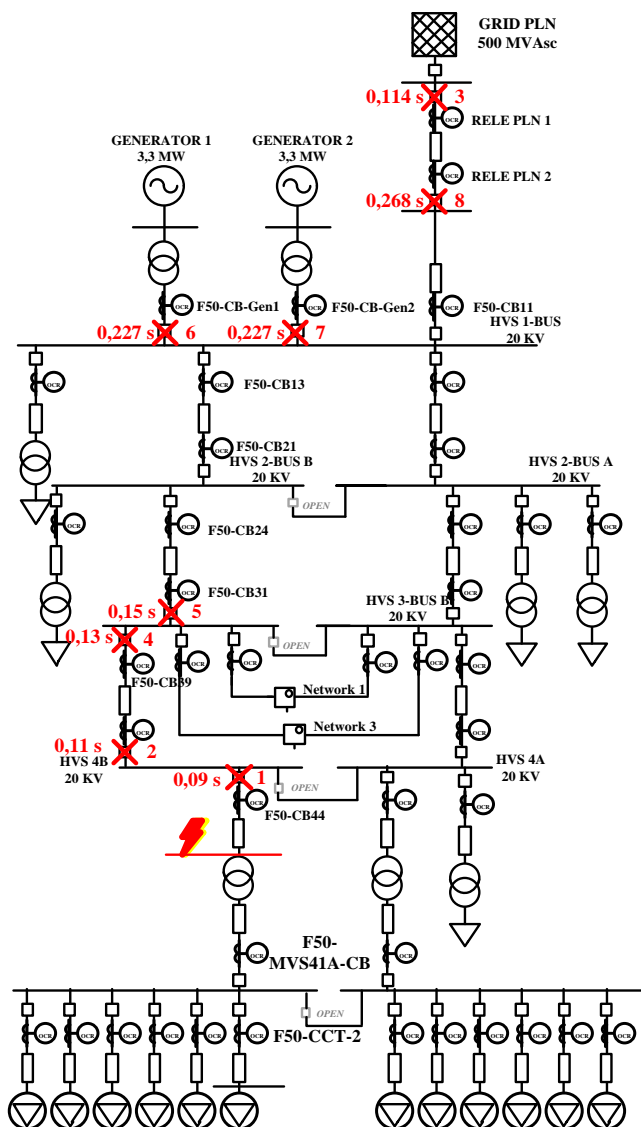
Dari data *existing* yang ada didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada tabel 4.43 dan urutan waktu kerja rele terlihat seperti pada gambar 4.51

**Tabel 4.43** *Sequence of Operation Existing* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1B

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	90,0	F50-CB44	0,400	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	110	F50-CB41	0,400	<i>Ground - OC1 - 51</i>
3	114	Relay GI PLN	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>
4	130	F50-CB39	0,400	<i>Ground - OC1 - 51</i>
5	150	F50-CB31	0,400	<i>Ground - OC1 - 51</i>
6	227	F50-CB-Gen2	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
7	227	F50-CB-Gen2	0,197	<i>Ground - OC1 - 51</i>
8	268	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>

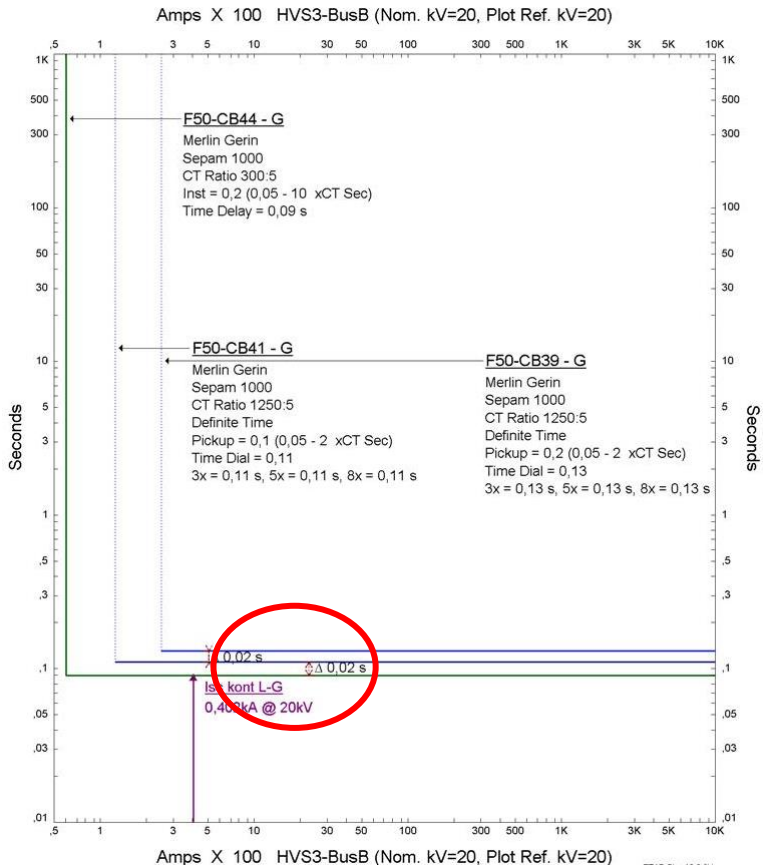
Pada tabel 4.43 di atas terlihat selisih waktu tunda antar rele hanya sebesar 0,02 detik sehingga dapat dikatakan *setting* waktu rele pada tipikal 1B masih salah. Untuk urutan waktu pada gambar 4.51 juga masih salah karena urutan rele PLN yang harusnya *trip* di akhir malah langsung *trip* pada waktu 0,114 detik pada urutan ke tiga *sequence of operation*.





**Gambar 4.51** *Sequence of Operation Existing Relé Fasa ke Tanah Tipikal 1B*

Untuk menganalisa lebih lanjut mengenai koordinasi rele, maka pada gambar 4.52 berikut akan ditampilkan kurva TCC gangguan fasa ke tanah pada tipikal 1B. Dari kurva dapat di lihat urutan *trip* sudah benar namun dapat di lihat pada lingkaran merah, besaran selisih waktu tunda antar rele hanya sebesar 0,02 detik.



**Gambar 4.52** Kurva TCC *Existing* Fasa ke Tanah Tipikal 1B

Berdasarkan kesalahan yang terjadi pada kondisi *existing* maka perlu diadakan perhitungan *setting* rele ulang pada tipikal 1B seperti berikut :

**a. Rele F50-CB44**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Rasio CT	: 20/1 A
I <sub>L-G</sub> kontribusi	: I <sub>NGR</sub> MVST1 + I <sub>NGR</sub> MVST2 + I <sub>NGR</sub> <i>Insulating transformer</i> = 200 + 200 + 200 = 600 A

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10% .I<sub>L-G</sub> kontribusi < I<sub>set</sub> < 50% . I<sub>L-G</sub> kontribusi

I<sub>set</sub> di pilih 10% . I<sub>L-G</sub> kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{set} = 60$$

$$Tap = \frac{60}{\text{Primer CT}} In$$

$$Tap = \frac{60}{20} In$$

$$Tap = 3 \cdot In$$

Di pilih Tap In (*Range* 0,05 – 10)

$$I_{set} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

**b. Rele F50-CB41**

Manufaktur	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Rasio CT	: 20/1 A
I <sub>L-G</sub> kontribusi	: I <sub>NGR</sub> MVST1 + I <sub>NGR</sub> MVST2 + I <sub>NGR</sub> <i>Insulating transformer</i> = 200 + 200 + 200 = 600 A

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{set} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{set} = 60$$

$$Tap = \frac{60}{\text{Primer CT}} In$$

$$Tap = \frac{60}{20} In$$

$$Tap = 3 \cdot In$$

Di pilih Tap  $In$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{set} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

**c. Rele F50-CB39**

Manufaktur

: MERLIN GERIN

Model

: SEPAM 1000

Rasio CT

: 20/1 A

$I_{L-G}$  kontribusi

:  $I_{NGR} MVST1 + I_{NGR} MVST2 +$   
 $I_{NGR} \text{Insulating transformer}$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{set} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{set} = 60$$

$$Tap = \frac{60}{\text{Primer CT}} In$$

$$Tap = \frac{60}{20} In$$

$$Tap = 3 \cdot In$$

Di pilih Tap  $In$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{set} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

**Time Delay**

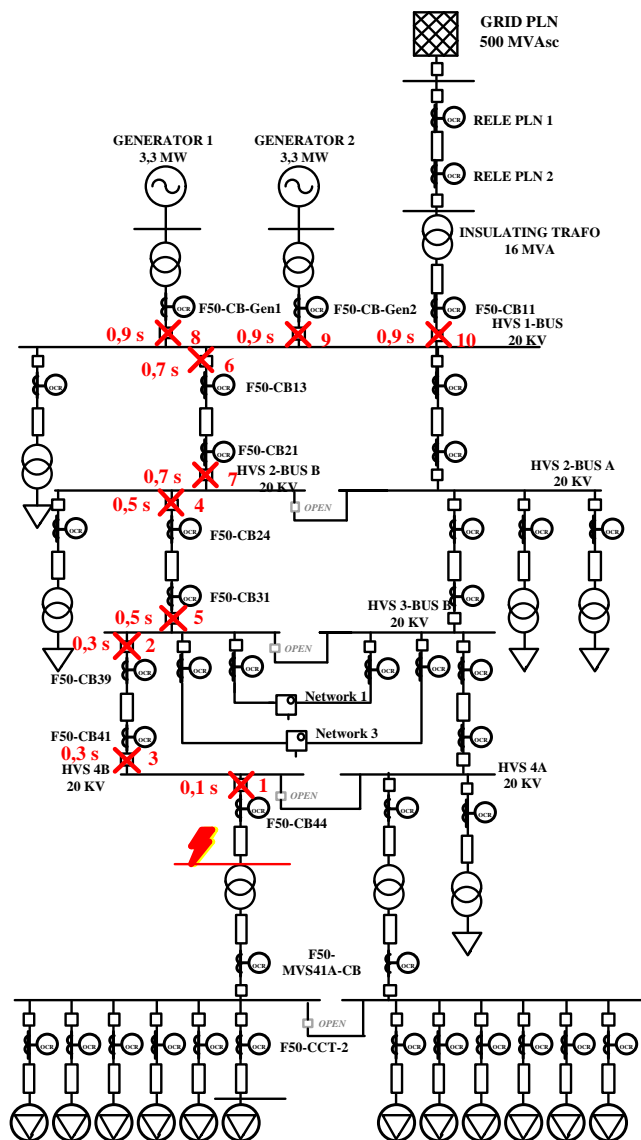
Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

Dari perhitungan di atas didapatkan data *setting* baru untuk rele-rele yang berada pada tipikal 1B seperti pada tabel 4.44 berikut.

**Tabel 4.44** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB44	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
F50-CB41	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,3
F50-CB39	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60A)
		<i>Time Delay</i>	0,3

Data yang didapat pada tabel 4.43 digunakan untuk melakukan simulasi ulang keadaan *resetting* sehingga didapatkan hasil *sequence of operation* seperti pada tabel 4.44 dan urutan kerja rele seperti pada gambar 4.53. Pada gambar 4.53 dapat di lihat urutan kerja rele sudah benar di mulai dengan rele paling dekat dengan sumber gangguan (F50-CB44) kemudian berlanjut ke rele di atasnya menuju sumber. Urutan nomor 2 dan 3 terbalik dari sumber ke beban, hal ini tidak dipermasalahkan karena waktu *trip* kedua rele sama dan urutan *trip* pada simulasi di mulai berdasarkan abjad. Hal serupa berlaku juga pada urutan 4 dan 5 pada gambar 4.53. Waktu tunda antar rele dapat di lihat pada tabel 4.44.



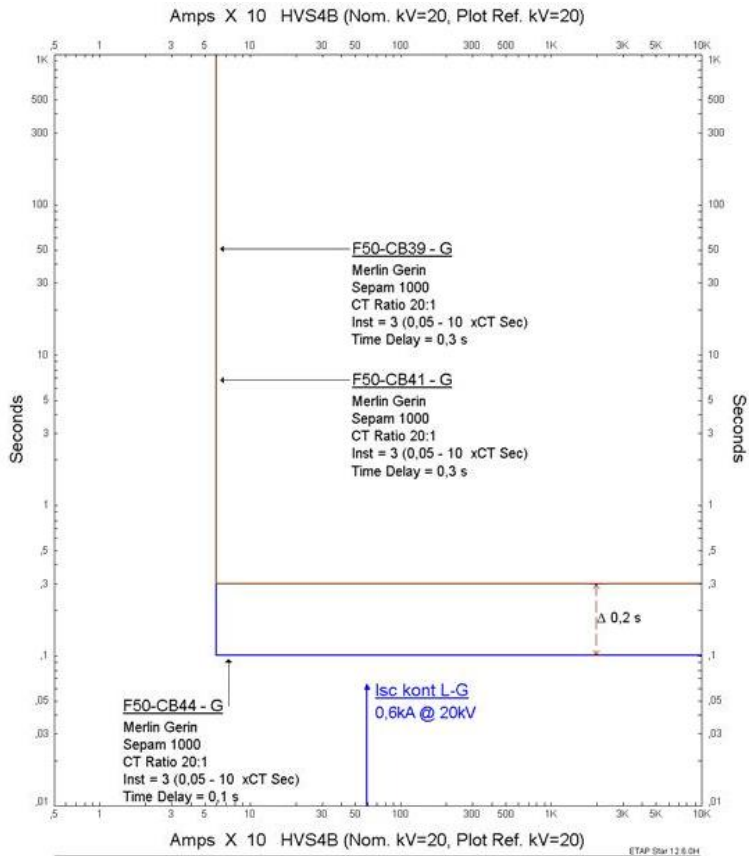
**Gambar 4.53** *Sequence of Operation Resetting Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1B*

Pada tabel di bawah ini terlihat selisih waktu tunda antar rele sudah dalam *range* (0,2 detik sampai 0,4 detik). Sedangkan arus gangguan yang dirasakan rele sebesar 574 Ampere merupakan arus kontribusi dari NGR pada trafo-trafo di atasnya ( $I_{NGR\ MVST1}$  ,  $I_{NGR\ MVST2}$  dan  $I_{NGR\ Insulating\ transformer}$ ) dimana total NGR nya adalah 600 Ampere.

**Tabel 4.45** *Sequence of operation Resetting* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1B

No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	F50-CB44	0,574	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	300	F50-CB39	0,574	<i>Ground - OC1 - 50</i>
3	300	F50-CB41	0,574	<i>Ground - OC1 - 50</i>
4	500	F50-CB24	0,574	<i>Ground - OC1 - 50</i>
5	500	F50-CB31	0,574	<i>Ground - OC1 - 50</i>
6	700	F50-CB21	0,574	<i>Ground - OC1 - 50</i>
7	700	F50-CB13	0,574	<i>Ground - OC1 - 50</i>
8	900	F50-CB-GEN1	0,191	<i>Ground - OC1 - 50</i>
9	900	F50-CB-GEN1	0,191	<i>Ground - OC1 - 50</i>
10	900	F50-CB11	0,192	<i>Ground - OC1 - 50</i>

Kurva TCC gangguan fasa ke tanah pada tipikal 1B ini terlihat pada gambar 4.55. Pada gambar terlihat arus *pickup* yang di pilih pada semua rele pada tipikal 1B dibuat sama karena semua rele mendapatkan kontribusi arus hubung singkat dari NGR pada trafoMVST1, MVST2 dan *Insulating Transformer* dengan nilai kontribusi yang sama. Selisih waktu tunda antara kedua rele sudah benar yaitu sebesar 0,2 detik.

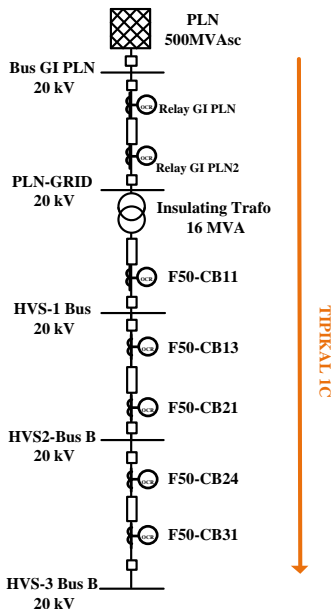


**Gambar 4.54** Kurva TCC *Reseting* Fasa ke Tanah Tipikal 1B



4.5.1.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah Tipikal 1C

Pada gambar 4.55 di bawah di merupakan *single line diagram* fasa ke tanah tipikal 1C.



**Gambar 4.55** *Single Line Diagram* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele fasa ke tanah kondisi *existing* tipikal 1C dapat di lihat pada tabel 4.46 berikut

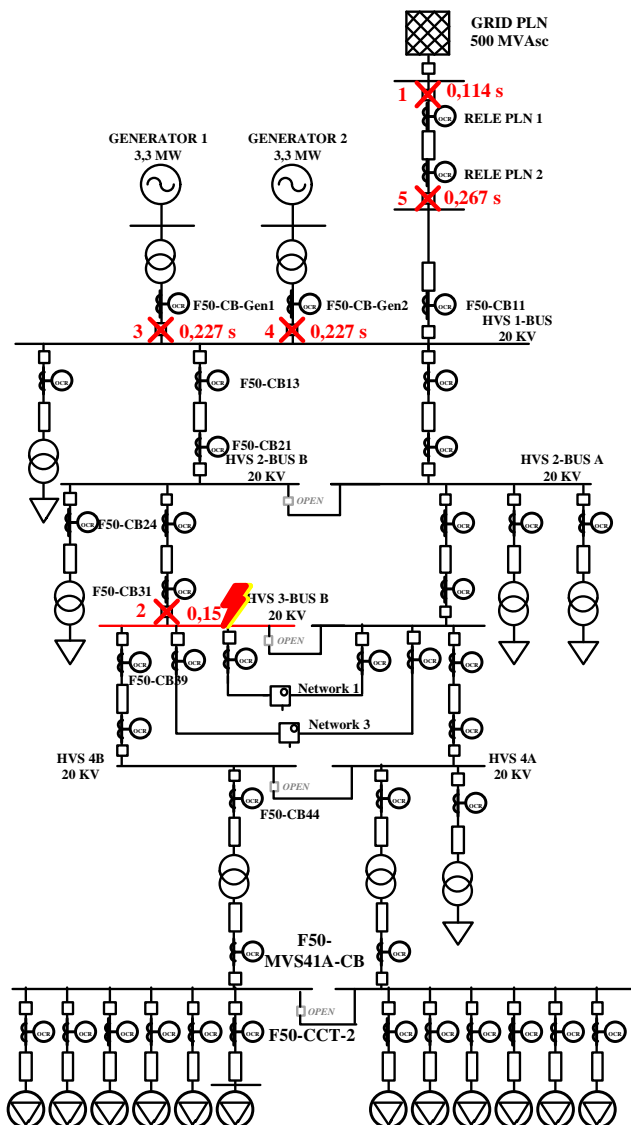
**Tabel 4.46** *Data Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB31	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,3 (375A)
		<i>Time Delay</i>	0,15

**Tabel 4.46.** Data *Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB24	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,4 (500 A)
		<i>Time Delay</i>	0,17
F50-CB21	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,5 (625 A)
		<i>Time Delay</i>	0,2
F50-CB13	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,6 (750 A)
		<i>Time Delay</i>	0,22
F50-CB11	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,7 (875A)
		<i>Time Delay</i>	0,24

Untuk menganalisa kesalahan yang ada pada tipikal 1C dapat dilihat melalui kurva TCC (*Time Current Curve*) dan hasil *sequence of operation* pada kondisi *existing*. Pertama pada gambar 4.56 akan ditampilkan hasil koordinasi rele *existing* kemudian pada gambar 4.57 akan ditampilkan gambar kurva TCC untuk membantu menganalisa koordinasi rele *existing*.



**Gambar 4.56** *Sequence of Operation Existing Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C*

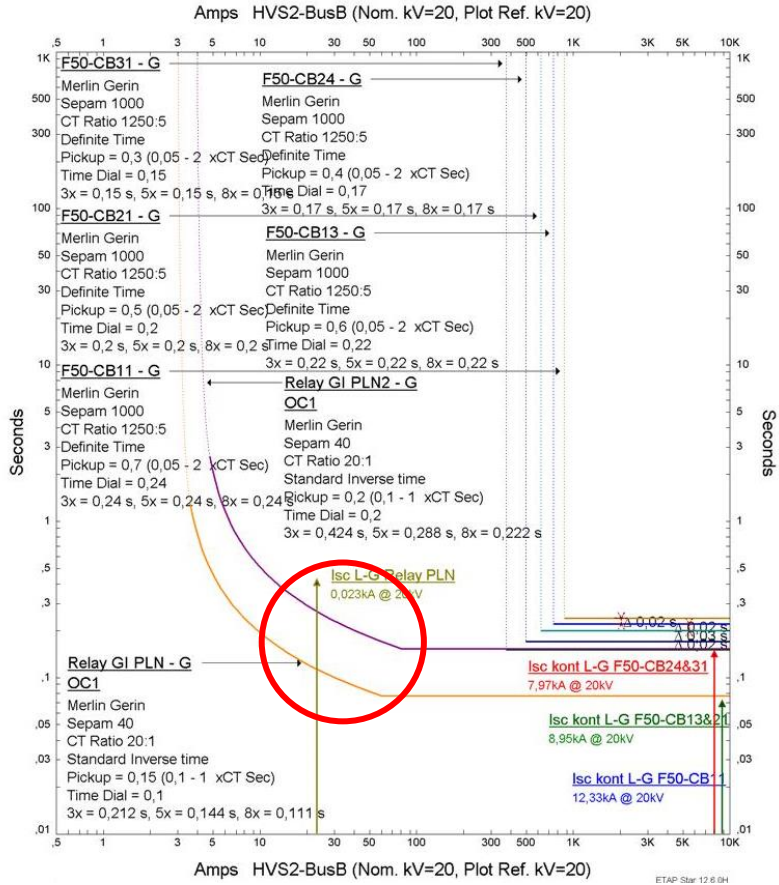
Untuk mempermudah melihat hasil *sequence of operation* di atas, pada tabel 4.47 berikut adalah urutan waktu operasi rele pada tipikal 1C beserta arus gangguan yang dirasakan rele.

**Tabel 4.47** *Sequence of operation Existing* Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah Tipikal 1C

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	114	Relay GI PLN	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>
2	150	F50-CB31	0,401	<i>Ground - OC1 - 51</i>
3	227	F50-CB-GEN1	0,195	<i>Ground - OC1 - 51</i>
4	227	F50-CB-GEN2	0,195	<i>Ground - OC1 - 51</i>
5	267	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>

Dari tabel 4.47 dapat dilihat waktu tunda pada masing-masing rele terlalu berdekatan sehingga akan terjadi *trip* serempak pada sistem apabila terjadi gangguan fasa ke tanah pada tipikal 1C. Urutan kerja rele juga masih salah. Pada gambar 4.56 terlihat ketika terjadi hubung singkat pada HVS3-BusB, Relay GI PLN aktif terlebih dahulu pada waktu 0,114 detik seperti terlihat pada lingkaran merah gambar 4.57. Setelah Relay Gi PLN aktif kemudian dilanjutkan dengan aktifnya rele F50-CB31 dan 0,077 detik kemudian semua sumber langsung mati dan karena selisih waktu tunda semua rele kurang dari 0,2 detik dapat diartikan juga semua rele aktif secara bersamaan sehingga

Sebelum rele generator dan PLN bekerja seharusnya didahului dengan aktifnya rele F50-CB 24, F50-CB21 dan F50-CB13 sebagai rele *backup*. Rele-rele tersebut tidak aktif karena *setting* waktu rele terlalu besar (di atas 500 Ampere) seperti terlihat pada tabel 4.46, sedangkan arus gangguan terbesar yang terjadi hanya sebesar 401 Ampere seperti terlihat pada tabel 4.47. Hal ini menyebabkan ketiga rele *backup* ini tidak bekerja ketika ada gangguan ada HVS3-BusB



**Gambar 4.57** Kurva TCC *Existing* Fasa ke Tanah Tipikal 1C

Akibat adanya penambahan *insulating transformer* dan berdasarkan hasil analisa koordinasi rele fasa ke tanah pada kondisi *existing* tipikal 1C di atas, maka diperlukan *resetting* koordinasi rele pengaman. Berikut perhitungannya :

**a. Rele F50-CB31**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} MVST1 + I_{NGR} MVST2 + I_{NGR} Insulating transformer$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

$5-10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi} < I_{set} < 50\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$I_{set}$  di pilih  $10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{set} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} \text{ In}$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot \text{In}$$

Di pilih Tap In (*Range* 0,05 – 10)

$$I_{set} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,5 detik

**b. Rele F50-CB24**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} MVST1 + I_{NGR} MVST2 + I_{NGR} Insulating transformer$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

$5-10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi} < I_{set} < 50\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$I_{set}$  di pilih  $10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$$I_{\text{set}} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{\text{set}} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} I_n$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (*Range* 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,5 detik

### **c. Rele F50-CB21**

Manufaktur

: MERLIN GERIN

Model

: SEPAM 1000

Rasio CT

: 20/1 A

$I_{L-G}$  kontribusi

$$\begin{aligned} &: I_{\text{NGR}} \text{ MVST1} + I_{\text{NGR}} \text{ MVST2} + \\ &\quad I_{\text{NGR}} \text{ Insulating transformer} \\ &= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A} \end{aligned}$$

### **Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

#### **Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{\text{set}} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{\text{set}}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{\text{set}} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{\text{set}} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} I_n$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (*Range* 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,7 detik

**d. Rele F50-CB13**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} MVST1 + I_{NGR} MVST2 + I_{NGR} Insulating transformer$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

$5-10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi} < I_{set} < 50\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$I_{set}$  di pilih  $10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{set} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} \text{ In}$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot \text{In}$$

Di pilih Tap In (*Range* 0,05 – 10)

$$I_{set} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,7 detik

**e. Rele F50-CB11**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} Insulating transformer = 200 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

$5-10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi} < I_{set} < 50\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$I_{set}$  di pilih  $10\% \cdot I_{L-G} \text{ kontribusi}$

$$I_{set} = 0,1 \cdot 200$$

$$I_{set} = 20$$



$$\text{Tap} = \frac{20}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\text{Tap} = \frac{20}{20} \text{ In}$$

$$\text{Tap} = 1. \text{ In}$$

Di pilih Tap In (*Range* 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 1 \times 20 = 20 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai *resetting* rele seperti pada tabel 4.48 berikut ini.

**Tabel 4.48** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB31	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,5
F50-CB24	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,5
F50-CB21	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,7
F50-CB13	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60A)
		<i>Time Delay</i>	0,7

**Tabel 4.48** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB11	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	1 (20 A)
		<i>Time Delay</i>	0,9

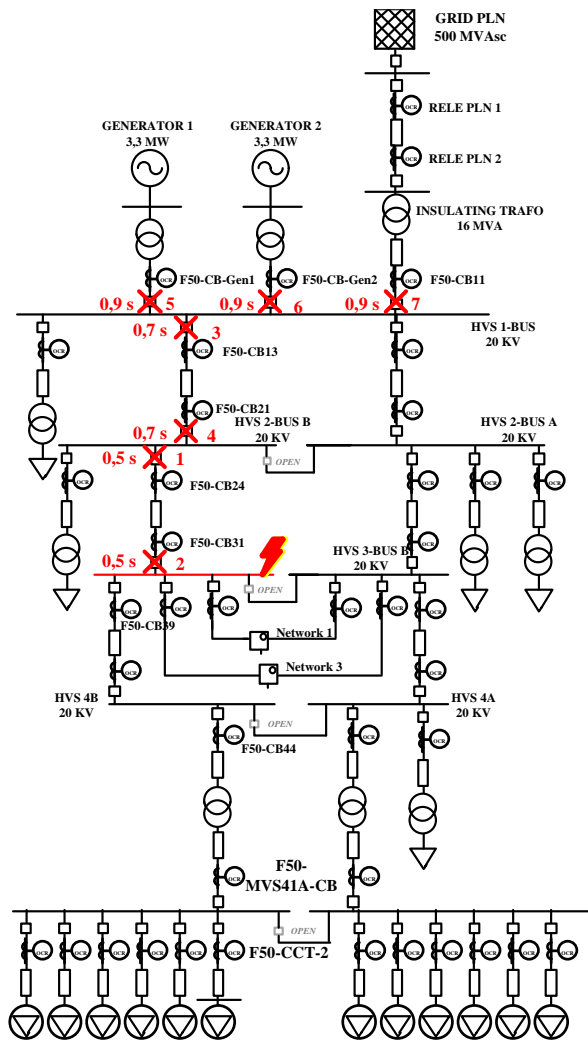
Nilai hasil *resetting* tersebut kemudian dimasukkan ke rele yang ada dan dilakukan simulasi koordinasi proteksi dengan hasil seperti pada tabel 4.49 berikut.

**Tabel 4.49** *Sequence of operation Resetting* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 1C

No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	500	F50-CB24	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	500	F50-CB31	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
3	700	F50-CB13	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
4	700	F50-CB21	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
5	900	F50-CB-GEN1	0,192	<i>Ground - OC1 - 50</i>
6	900	F50-CB-GEN2	0,192	<i>Ground - OC1 - 50</i>
7	900	F50-CB11	0,192	<i>Ground - OC1 - 50</i>

Pada tabel di atas dapat di lihat selisih waktu tunda antar rele sudah benar, yaitu sebesar 0,2 detik. Untuk urutan kerja rele dapat di lihat pada gambar 4.58. Pada gambar dapat terlihat bahwa rele bekerja secara runtut dari titik terjadinya gangguan. Urutan nomor 1 dan 2 terbalik dari sumber ke titik gangguan, hal ini tidak dipermasalahkan karena waktu *trip* kedua rele sama dan urutan *trip* pada simulasi di mulai berdasarkan abjad. Hal serupa berlaku juga untuk urutan 3 dan 4. Dapat di lihat karena adanya *insulating trafo* yang membatasi bagian primer dan sekunder trafo dengan belitan delta pada bagian primer trafo

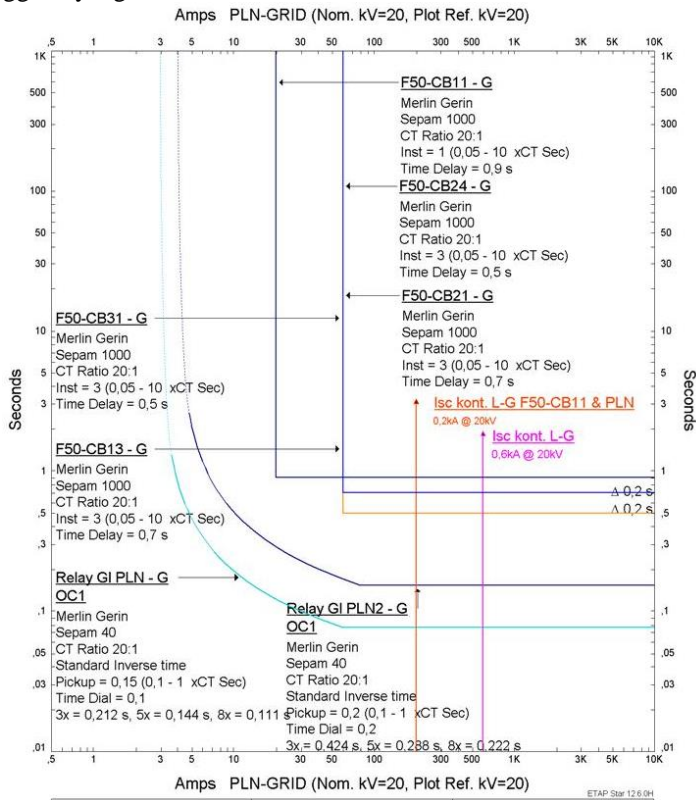
maka rele bagian primer trafo (Relay PLN) tidak ikut bekerja ketika ada gangguan pada sistem sisi sekunder trafo.



**Gambar 4.58** Sequence of Operation Resetting Rele Fasa ke Tanah Tipikal 1C

Pada gambar 4.59 di bawah ini dapat di lihat selisih waktu tunda antar rele sudah benar, yaitu 0,2 detik. Pada garis kontribusi hubung singkat ditunjukkan jika terjadi hubung singkat pada tipikal 1C ini maka semua rele dapat bekerja secara urut karena garis kontribusi hubung singkat tepat memotong semua rele dengan jeda waktu 0,2 detik.

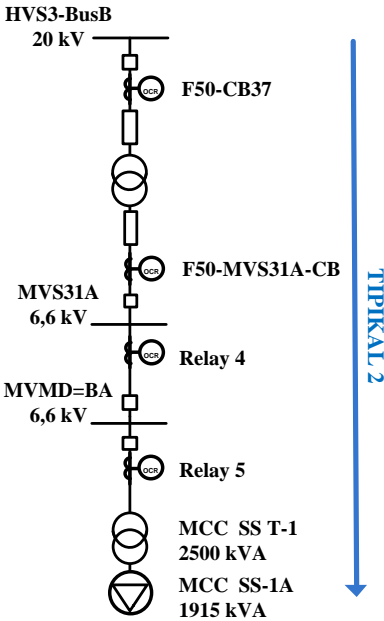
Pada gambar 4.59 terlihat arus hubung singkat juga memotong kurva rele PLN pada waktu yang lebih awal dari rele lainnya. Hal ini tidak dipermasalahkan karena pada sistem, kedua rele PLN ini berada di atas *insulating trafo* dengan belitan *delta-wye* sehingga rele PLN tidak akan aktif ketika gangguan terjadi di bawah *insulating trafo* yang disebabkan adanya belitan *delta* pada sisi primer trafo mengisolir arus gangguan yang ada.



**Gambar 4.59** Kurva TCC Reseting Fasa ke Tanah Tipikal 1C

4.5.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah Tipikal 2

Pada gambar 4.60 di bawah di merupakan *single line diagram* fasa ke tanah tipikal 2.



Gambar 4.60 *Single Line Diagram* Fasa ke Tanah Tipikal 2

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele fasa ke tanah kondisi *existing* tipikal 1C.dapat di lihat pada tabel 4.50 berikut

Tabel 4.50 Data *Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2

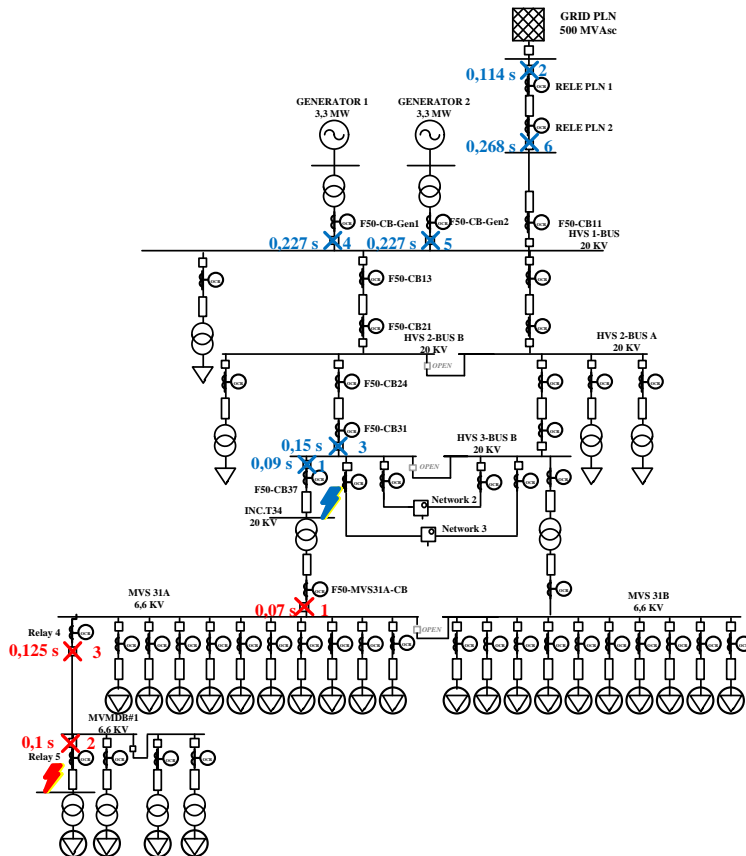
ID rele	CT Ratio	Setting	
Relay 5	300/5	Pickup Lowset	DISABLE
		Time Dial	DISABLE
		Pickup Highset	0,1 (30 A)
		Time Delay	0,1

**Tabel 4.50** Data *Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2 (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
Relay 4	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,1 (30 A)
		<i>Time Delay</i>	0,125
F50-MVS31A-CB	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,1 (125 A)
		<i>Time Delay</i>	0,07
F50-CB37	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,2 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,09

Untuk menganalisa kesalahan yang ada pada tipikal 2 dapat di lihat melalui kurva TCC (*Time Current Curve*) dan hasil *sequence of operation* pada kondisi *existing*. Pertama pada gambar 4.61 akan ditampilkan hasil koordinasi rele *existing* kemudian pada gambar 4.62 akan ditampilkan gambar kurva TCC untuk membantu menganalisa koordinasi rele *existing*.

Pada gambar 4.61 didapatkan hasil *sequence of operation* dengan urutan kerja rele yang masih salah. Ketika terjadi hubung singkat pada bus 14 urutan kerja rele masih belum runtut. Urutan yang benar harusnya Relay 5 terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan Relay 4 kemudian F50-MVS31A-CB. Untuk simulasi gangguan fasa ke tanah pada INC.T34 urutan kerja rele juga masih salah karena rele F50-CB24,F50-CB21 dan F50-CB13 tidak bekerja ketika terjadi gangguan.



**Gambar 4.61** *Sequence of Operation Existing Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2*

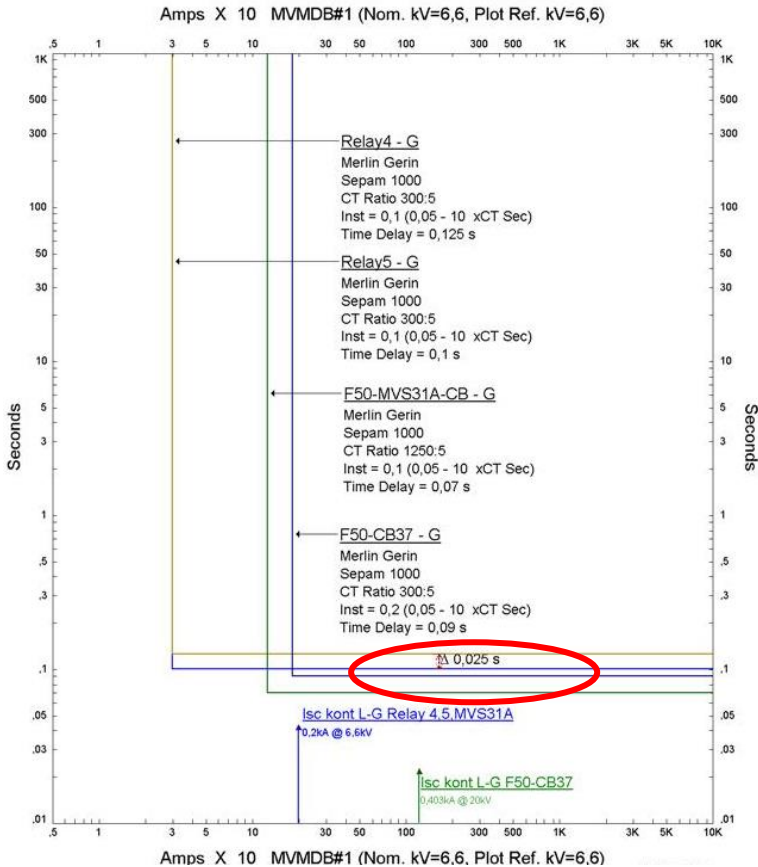
Selisih waktu tunda rele seperti terlihat pada tabel 4.51 masih salah karena selisih waktu tunda rele kurang dari 0,2 detik baik ketika terjadi gangguan pada bus 14 ataupun INC.T34.

**Tabel 4.51** *Sequence of Operation Existing* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 2

Lokasi Hubung Singkat : Bus 14				
No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	70,0	F50-MVS31A-CB	0,199	<i>Ground - OC1 – 50</i>
2	100	Relay5	0,199	<i>Ground - OC1 – 50</i>
3	125	Relay4	0,199	<i>Ground - OC1 – 50</i>
Lokasi Hubung Singkat : Bus INC.T34				
No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	90,0	F50-CB37	0,401	<i>Ground - OC1 – 50</i>
2	114	Relay GI PLN	0,023	<i>Ground - OC1 – 51</i>
2	150	F50-CB31	0,401	<i>Ground - OC1 – 51</i>
3	227	F50-CB-GEN1	0,195	<i>Ground - OC1 – 51</i>
4	227	F50-CB-GEN2	0,195	<i>Ground - OC1 – 51</i>
5	268	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 – 51</i>

Pada gambar 4.62 ditampilkan kurva TCC gangguan fasa ke tanah pada tipikal 2. Pada lingkaran merah terlihat selisih waktu tunda rele masih sangat kecil (kurang dari 0,2 detik) sehingga apabila ada gangguan hubung singkat fasa ke tanah pada tipikal 2 ini akan terjadi *trip* secara bersamaan pada rele-rele yang aktif di tabel 4.51 di atas.





**Gambar 4.62** Kurva TCC *Existing* Fasa ke Tanah Tipikal 2

Akibat adanya penambahan *insulating transformer* dan berdasarkan hasil analisa koordinasi rele fasa ke tanah pada kondisi *existing* tipikal 2 di atas, maka diperlukan *resetting* koordinasi rele pengaman. Berikut perhitungannya :

**a. Rele Relay 5**

Manufaktur

: MERLIN GERIN

Model

: SEPAM 1000

Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR}$  MVS 31- T31A = 200 A

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{set}$  < 50%  $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 200$$

$$I_{set} = 20$$

$$Tap = \frac{20}{\text{Primer CT}} In$$

$$Tap = \frac{20}{20} In$$

$$Tap = 1. In$$

Di pilih Tap In (Range 0,05 – 10)

$$I_{set} = 1 \times 20 = 20 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih Time Delay 0,1 detik

**b. Rele Relay 4**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
 Model : SEPAM 1000  
 Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR}$  MVS 31- T31A = 200 A

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{set}$  < 50%  $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 200$$

$$I_{set} = 20$$

$$Tap = \frac{20}{\text{Primer CT}} In$$

$$Tap = \frac{20}{20} In$$

$$Tap = 1. In$$

Di pilih Tap In (*Range* 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 1 \times 20 = 20 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

**c. Rele F50-MVS31A-CB**

Manufaktur : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

Rasio CT : 20/1 A

$I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} \text{ MVS 31- T31A} = 200 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{\text{set}} < 50\% \cdot I_{L-G}$  kontribusi

$I_{\text{set}}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{\text{set}} = 0,1 \cdot 200$$

$$I_{\text{set}} = 20$$

$$\text{Tap} = \frac{20}{\text{Primer CT}} \text{ In}$$

$$\text{Tap} = \frac{20}{20} \text{ In}$$

$$\text{Tap} = 1 \cdot \text{In}$$

Di pilih Tap In (*Range* 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 1 \times 20 = 20 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,5 detik

**d. Rele F50-CB37**

Manufaktur : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

Rasio CT : 20/1 A

$I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} \text{ MVST1} + I_{NGR} \text{ MVST2} + I_{NGR} \text{ Insulating transformer}$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

### **Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{set}$  < 50%  $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{set} = 60$$

$$Tap = \frac{60}{\text{Primer CT}} In$$

$$Tap = \frac{60}{20} In$$

$$Tap = 3 \cdot In$$

Di pilih Tap  $In$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{set} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai *resetting* rele seperti pada tabel 4.52 berikut ini.

**Tabel 4.52** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
Relay 5	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	1 (20 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
Relay 4	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	1 (20 A)
		<i>Time Delay</i>	0,3
F50-MVS31A-CB	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	1 (20 A)
		<i>Time Delay</i>	0,5

**Tabel 4.52** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2 (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB37	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1

Nilai hasil *resetting* tersebut kemudian dimasukkan ke rele yang ada dan dilakukan simulasi koordinasi proteksi dengan hasil seperti pada tabel 4.53 berikut.

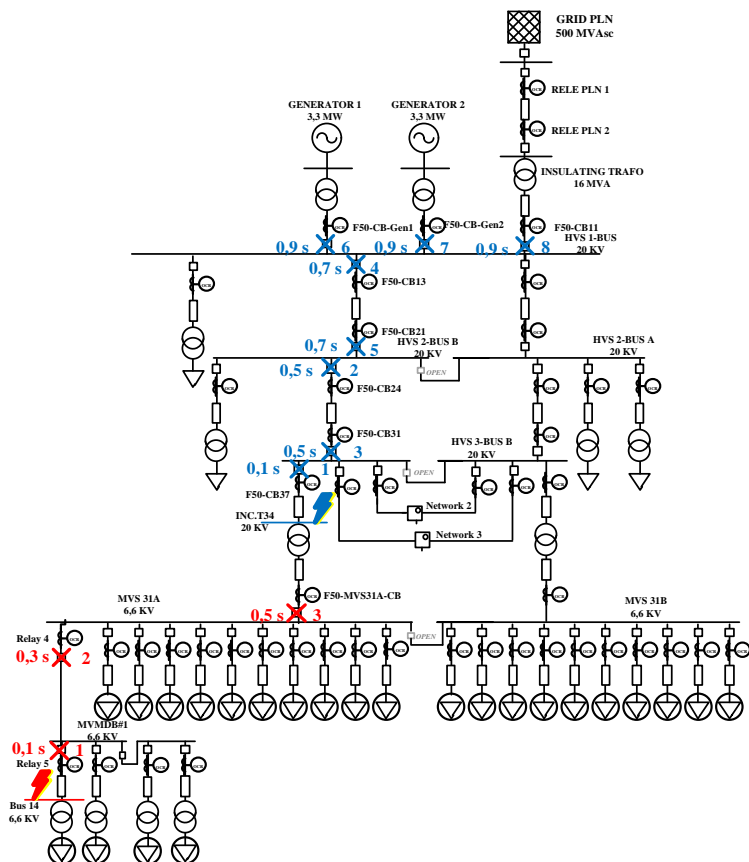
**Tabel 4.53** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 2

Lokasi Hubung Singkat : Bus 14				
No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	Relay5	0,199	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	300	Relay4	0,199	<i>Ground - OC1 - 50</i>
3	500	F50-MVS31A-CB	0,199	<i>Ground - OC1 - 50</i>
Lokasi Hubung Singkat : Bus INC.T34				
No	Waktu (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	F50-CB37	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	500	F50-CB24	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
3	500	F50-CB31	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
4	700	F50-CB13	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
5	700	F50-CB21	0,576	<i>Ground - OC1 - 50</i>
6	900	F50-CB-GEN1	0,192	<i>Ground - OC1 - 50</i>
7	900	F50-CB-GEN2	0,192	<i>Ground - OC1 - 50</i>
8	900	F50-CB11	0,192	<i>Ground - OC1 - 50</i>

Pada tabel 4.53 didapatkan selisih waktu tunda antar rele sudah benar, yaitu dalam *range* 0,2 detik dan 0,4 detik. Arus gangguan yang dirasakan oleh Relay 5, Relay 4 dan F50-MVS31A-CB sebesar 0,199 kA merupakan arus gangguan kontribusi dari NGR trafo MVS31-T31A yang mempunyai NGR sebesar 0,2 kA. Sedangkan untuk arus gangguan pada F50-CB37 sampai F50-CB21 merupakan arus jumlah dari NGR MVST1, MVST2 dan *Insulating transformer*. Untuk arus gangguan pada F50-CB11 merupakan kontribusi arus NGR dari *Insulating trafo*. Arus gangguan pada F50-CB-Gen1 merupakan kontribusi arus NGR dari MVST1. Kemudian untuk arus gangguan pada F50-CB-Gen2 merupakan kontribusi arus NGR dari MVST2.

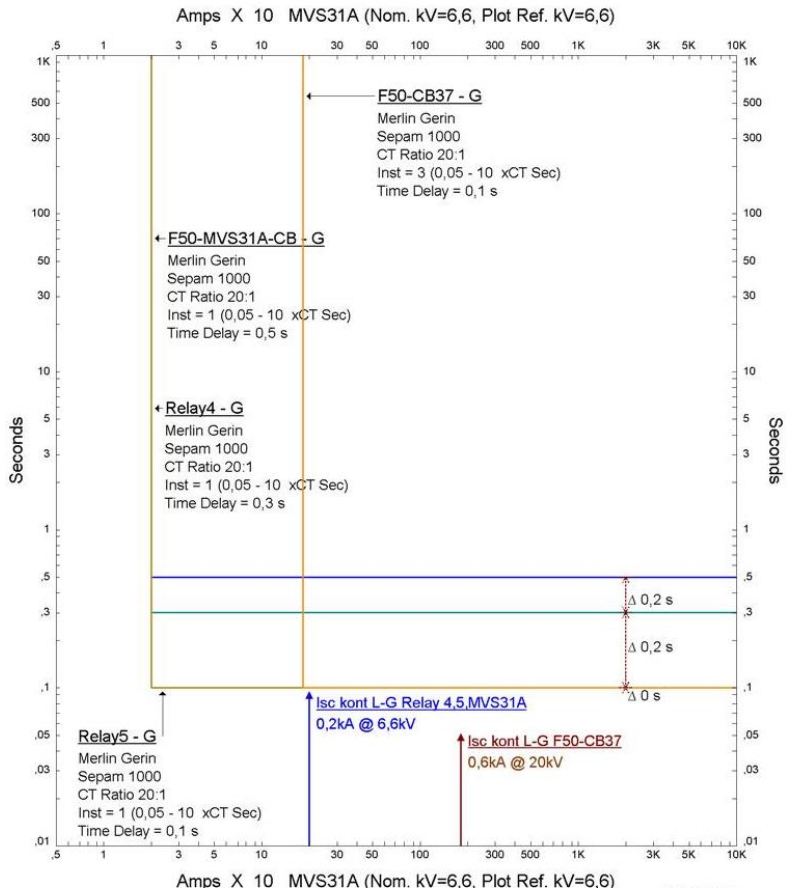
Untuk urutan kerja rele dapat di lihat pada gambar 4.63. Saat terjadi hubung singkat pada bus 14 urutan kerja rele sudah benar yaitu dari rele terdekat dengan titik gangguan terus berurutan kearah sumber. Rele yang aktif bekerja hanya sampai pada rele F50-MVS31A-CB karena dibagian atas rele tersebut terdapat trafo dengan hubungan belitan *delta-wye* sehingga bagian primer trafo yang dihubung *delta* tidak merasakan arus gangguan fasa ke tanah karena hubungan *delta* tidak diketanahkan. Hal yang sama terjadi ketika hubung singkat fasa ke tanah pada bus INC.T34 rele yang bekerja adalah rele F50-CB37 menuju ke sumber dan berhenti sampai rele F50-CB11 karena disebelah atas rele ini terdapat *insulating trafo* dengan hubungan *delta-wye* sehingga dapat melindungi bagian primer trafo apabila terjadi gangguan fasa ke tanah pada bagian sekunder trafo.

Penggunaan *insulating trafo* bertujuan untuk memisahkan gangguan pada bagian sekunder dan primer trafo. Selain itu juga berfungsi sebagai pembatas waktu tunda antara bagian primer dan sekunder trafo, hal ini perlu karena bagian primer *insulating trafo* merupakan rele milik PLN yang tidak dapat di ubah-ubah oleh PT. Terminal Teluk Lamong.



**Gambar 4.63** *Sequence of Operation Resetting Rele Fasa ke Tanah Tipikal 2*

Kurva TCC ditunjukkan seperti pada gambar 4.64. Pada kurva tersebut dapat di lihat selisih waktu antar rele sudah benar karena masih dalam *range* 0,2 detik sampai 0,4 detik.

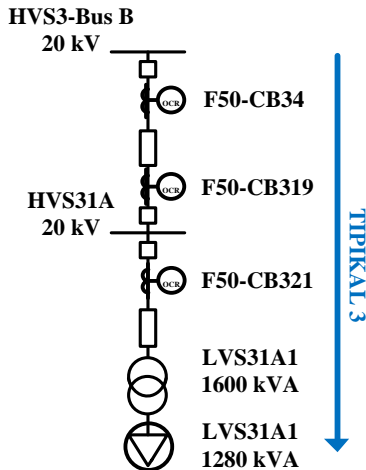


**Gambar 4.64** Kurva TCC Resetting Gangguan Fasa ke Tanah Tipikal2



4.5.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah Tipikal 3

Pada gambar 4.65 di bawah di merupakan *single line diagram* fasa ke tanah tipikal 3.



Gambar 4.65 Single Line Diagram Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele fasa ke tanah kondisi *existing* tipikal 3 dapat di lihat pada tabel 4.54 berikut

Tabel 4.54 Data Existing Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3

ID rele	CT Ratio	Setting	
		Pickup Lowset	DISABLE
F50-CB321	50/5	Time Dial	DISABLE
		Pickup Highset	0,1 (5 A)
		Time Delay	0,05
		Pickup Lowset	DISABLE
F50-CB319	300/5	Time Dial	DISABLE
		Pickup Highset	0,1 (30 A)
		Time Delay	0,07
		Pickup Lowset	DISABLE

**Tabel 4.54** Data *Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3 (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB34	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,2 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,09

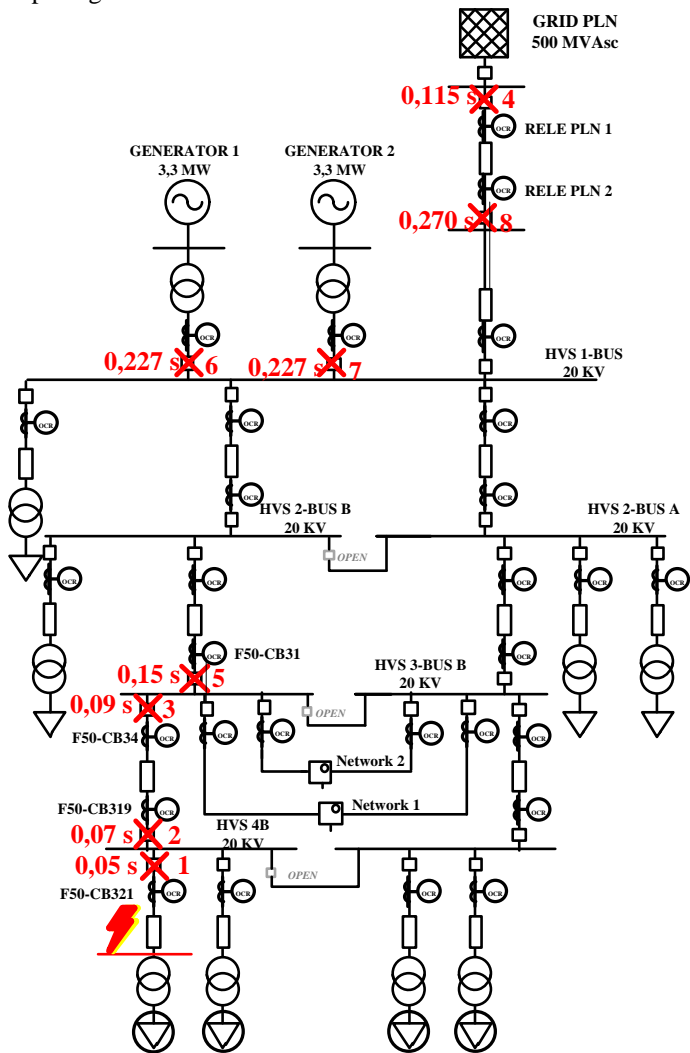
Untuk menganalisa kesalahan yang ada pada tipikal 3 dapat di lihat melalui kurva TCC (*Time Current Curve*) dan hasil *sequence of operation* pada kondisi *existing*. Pertama pada tabel 4.55 dan gambar 4.66 akan ditampilkan hasil koordinasi rele *existing* kemudian pada gambar 4.67 akan ditampilkan gambar kurva TCC untuk membantu menganalisa koordinasi rele *existing*.

**Tabel 4.55** *Sequence of Operation Existing* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 3

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	50,0	F50-CB321	0,395	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	70,0	F50-CB319	0,395	<i>Ground - OC1 - 50</i>
3	90,0	F50-CB34	0,395	<i>Ground - OC1 - 50</i>
4	115	Relay GI PLN	0,022	<i>Ground - OC1 - 51</i>
5	150	F50-CB31	0,395	<i>Ground - OC1 - 51</i>
6	227	F50-CB-GEN1	0,192	<i>Ground - OC1 - 51</i>
7	227	F50-CB-GEN2	0,192	<i>Ground - OC1 - 51</i>
8	270	Relay GI PLN2	0,022	<i>Ground - OC1 - 51</i>

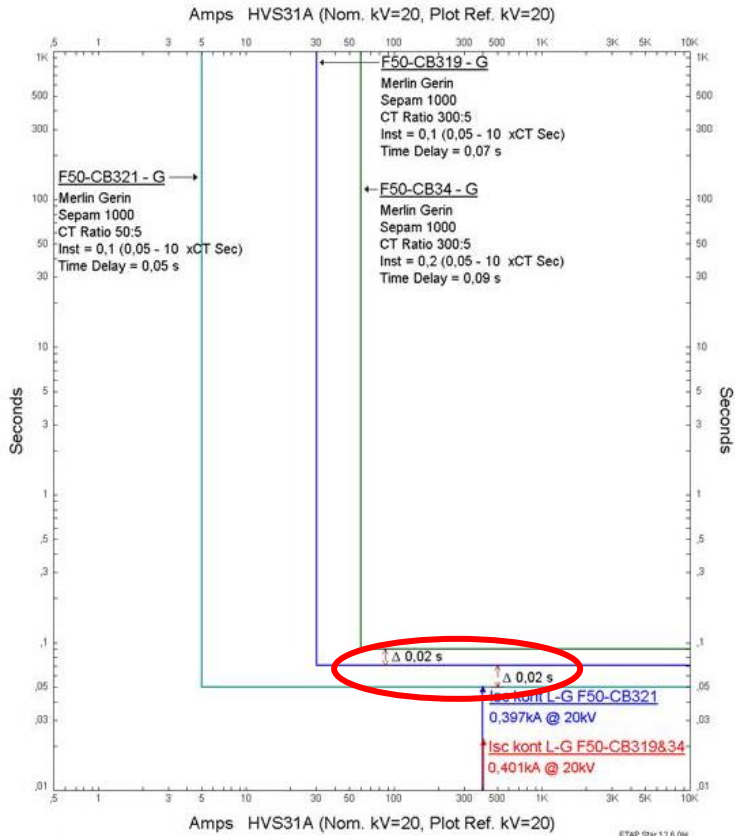
Pada tabel di atas dapat di lihat selisih waktu tunda antara rele masih salah karena masih di bawah 0,2 detik. Untuk urutan kerja rele seperti pada gambar 4.66 sudah benar, yaitu dari rele terdekat dengan sumber gangguan (F50-CB321) dan terus berurutan menuju ke sumber.

Untuk melihat lebih jelas mengenai koordinasi rele dapat di lihat kurva TCC pada gambar 4.67.



**Gambar 4.66.** *Sequence of Operation Existing Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 3*

Pada gambar 4.67 di bawah ini terlihat kesalahan terjadi pada pemilihan waktu tunda sehingga selisih waktu tunda antar rele hanya sebesar 0,02 detik. Pemilihan waktu tunda yang kurang dari 0,2 detik dapat menyebabkan terjadinya *trip* secara bersamaan pada rele.



**Gambar 4.67** Kurva TCC *Existing* Fasa ke Tanah Tipikal 3

Akibat adanya penambahan *insulating transformer* dan berdasarkan hasil analisa koordinasi rele fasa ke tanah pada kondisi *existing* tipikal 3 di atas, maka diperlukan *resetting* koordinasi rele pengaman. Berikut perhitungannya :

**a. Rele F50-CB321**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} MVST1 + I_{NGR} MVST2 + I_{NGR} Insulating transformer$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi  $< I_{set} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{set} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} I_n$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{set} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

**b. Rele F50-CB319**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} MVST1 + I_{NGR} MVST2 + I_{NGR} Insulating transformer$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi  $< I_{set} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{\text{set}} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} I_n$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

### c. **Rele F50-CB34**

Manufaktur

: MERLIN GERIN

Model

: SEPAM 1000

Rasio CT

: 20/1 A

$I_{L-G}$  kontribusi

:  $I_{\text{NGR}} \text{ MVST1} + I_{\text{NGR}} \text{ MVST2} +$   
 $I_{\text{NGR}} \text{Insulating transformer}$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

### **Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

#### **Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{\text{set}} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{\text{set}}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{\text{set}} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{\text{set}} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} I_n$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,3 detik

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai *resetting* rele seperti pada tabel 4.56 berikut ini.

**Tabel 4.56** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB321	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
F50-CB319	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,3
F50-CB34	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,3

Nilai hasil *resetting* tersebut kemudian dimasukkan ke rele yang ada dan dilakukan simulasi koordinasi proteksi dengan hasil seperti pada tabel 4.57 berikut.

**Tabel 4.57** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 3

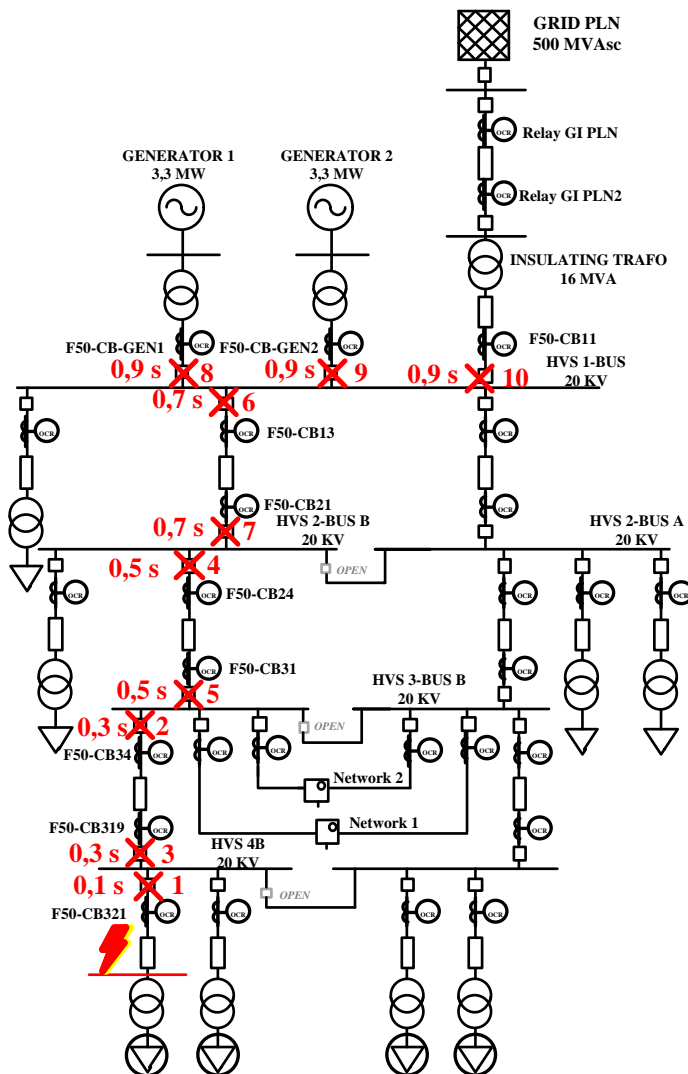
No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	F50-CB321	0,565	<i>Ground - OC1 – 50</i>
2	300	F50-CB34	0,565	<i>Ground - OC1 – 50</i>
3	300	F50-CB319	0,565	<i>Ground - OC1 – 50</i>
4	500	F50-CB24	0,565	<i>Ground - OC1 – 50</i>
5	500	F50-CB31	0,565	<i>Ground - OC1 – 50</i>
6	700	F50-CB13	0,565	<i>Ground - OC1 – 50</i>

**Tabel 4.57** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 3 (lanjutan)

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
7	700	F50-CB21	0,565	<i>Ground - OC1 - 50</i>
8	900	F50-CB-GEN1	0,188	<i>Ground - OC1 - 50</i>
9	900	F50-CB-GEN2	0,188	<i>Ground - OC1 - 50</i>
10	900	F50-CB11	0,189	<i>Ground - OC1 - 50</i>

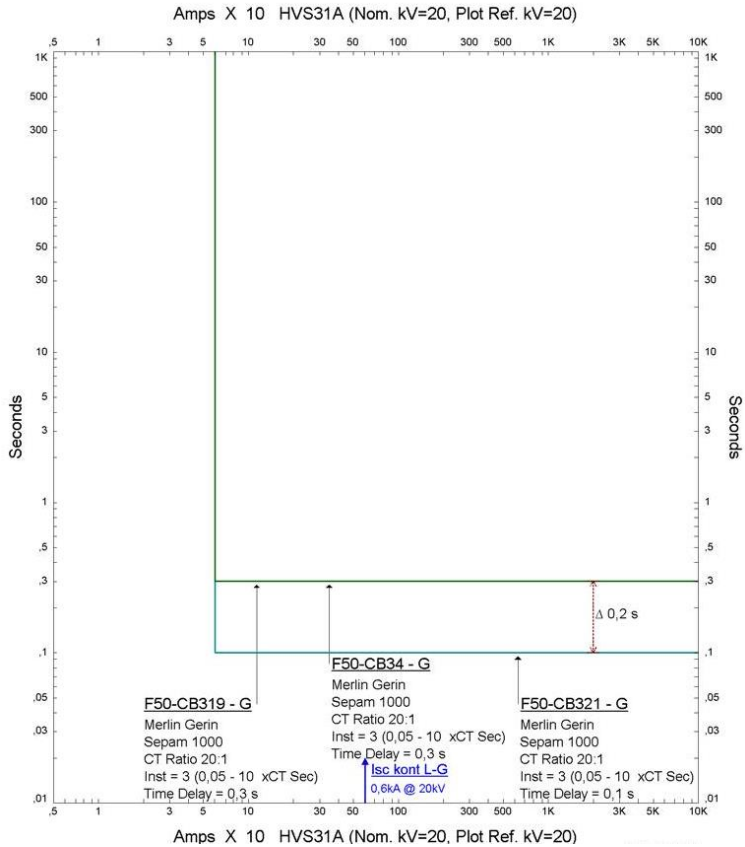
Dari tabel 4.57 di atas selisih waktu tunda 0,2 detik sehingga dapat dikatakan pemilihan waktu sudah benar. Sedangkan untuk urutan kerja rele juga sudah benar. Sedangkan urutan rele dapat di lihat pada gambar 4.68. Pada gambar 4.68 terlihat urutan rele sudah benar karena berurutan dari titik terjadinya gangguan menuju ke sumber.





**Gambar 4.68** *Sequence of operation Resetting Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 3*

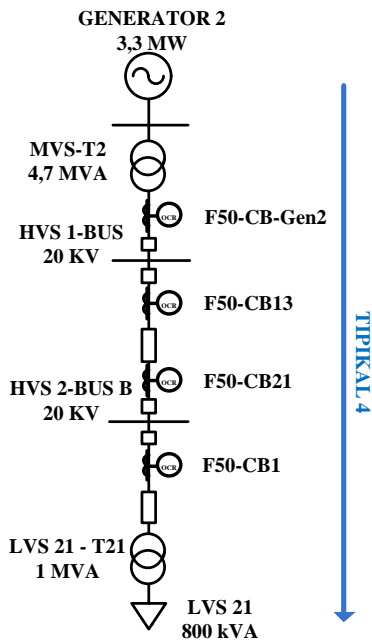
Pada gambar 4.69 terlihat bahwa pemilihan waktu tunda sudah benar. Semua rele memiliki nilai *pickup* yang sama karena ketiga rele mendapatkan nilai arus kontribusi hubung singkat dari penjumlahan NGR pada trafo MVST1, MVST2 dan *Insulating transformer*.



**Gambar 4.69** Kurva TCC *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 3

4.5.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa ke Tanah Tipikal 4

Pada gambar 4.70 di bawah ini merupakan *single line diagram* fasa ke tanah tipikal .



**Gambar 4.70** *Single Line Diagram* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4

Untuk mengetahui *setting* koordinasi rele fasa ke tanah kondisi *existing* tipikal 4 dapat di lihat pada tabel 4.58 berikut

**Tabel 4.58** *Data Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB1	50/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,1 (5 A)
		<i>Time Delay</i>	0,05

**Tabel 4.58** Data *Existing* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4 (lanjutan)

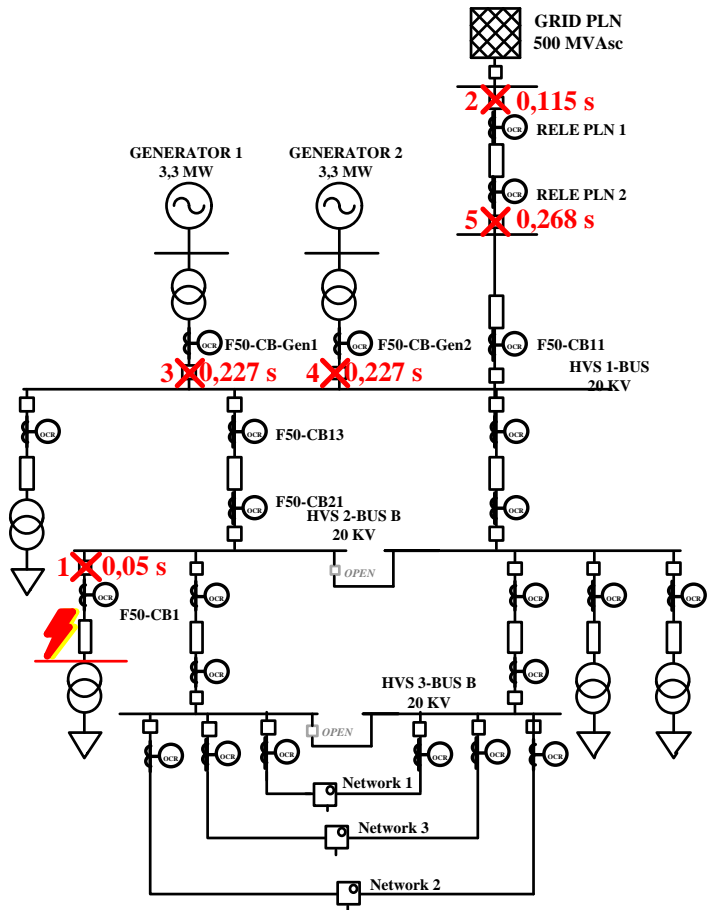
<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB21	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,5 (625 A)
		<i>Time Delay</i>	0,2
F50-CB13	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	0,6 (750 A)
		<i>Time Delay</i>	0,22
F50-CB-Gen2	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	0,3(6 A)
		<i>Time Dial</i>	0,1
		<i>Pickup Highset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Delay</i>	<i>DISABLE</i>

Untuk menganalisa kesalahan yang ada pada tipikal 4 dapat di lihat melalui kurva TCC (*Time Current Curve*) dan hasil *sequence of operation* pada kondisi *existing*. Pertama pada tabel 4.59 dan gambar 4.71 akan ditampilkan hasil koordinasi rele *existing* kemudian pada gambar 4.72 akan ditampilkan gambar kurva TCC untuk membantu menganalisa koordinasi rele *existing*.

**Tabel 4.59** *Sequence of Operation Existing* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 4

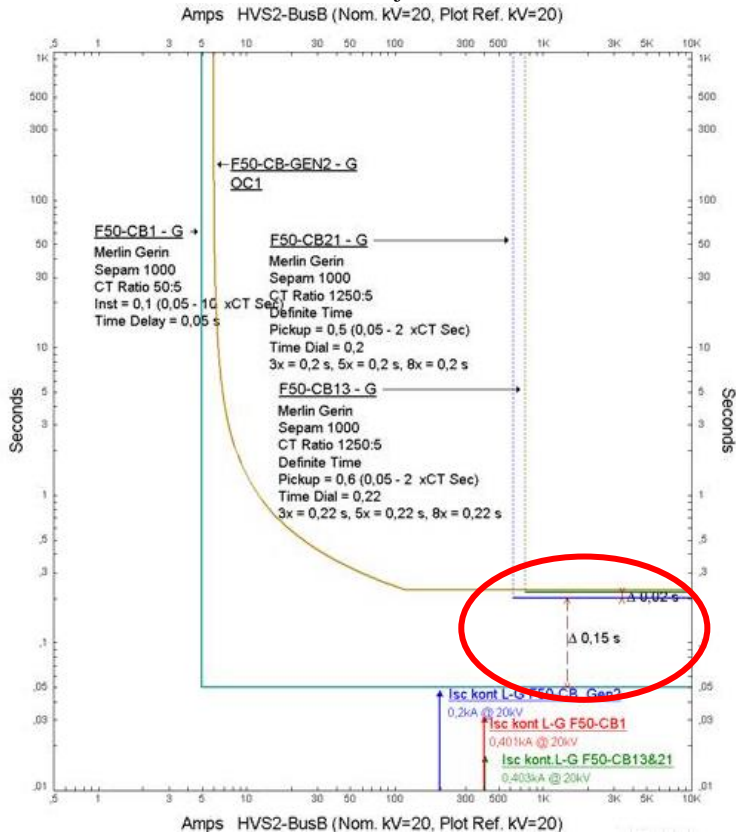
No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	50,0	F50-CB1	0,399	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	115	Relay GI PLN	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>
3	227	F50-CB-GEN1	0,194	<i>Ground - OC1 - 51</i>
4	227	F50-CB-GEN2	0,194	<i>Ground - OC1 - 51</i>
5	268	Relay GI PLN2	0,023	<i>Ground - OC1 - 51</i>

Pada tabel 4.59 dapat di lihat selisih waktu tunda antar rele masih salah karena di bawah 0,2 detik sehingga jika terjadi gangguan pada tipikal 4 ini akan terjadi *trip* secara bersamaan pada sistem. Pada gambar 4.71 terlihat urutan kerja sudah benar yaitu di mulai dari rele terdekat dengan sumber gangguan kemudian berurutan menuju sumber.



**Gambar 4.71** *Sequence of Operation Existing* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 4

Pada gambar 4.72 berikut terlihat selisih waktu tunda antara kedua rele masih di bawah 0,2 detik sehingga jika terjadi gangguan pada sistem akan membuat semua rele bekerja secara bersamaan.



**Gambar 4.72** Kurva TCC *Existing* Fasa ke Tanah Tipikal 4

Akibat adanya penambahan *insulating transformer* dan berdasarkan hasil analisa koordinasi rele fasa ke tanah pada kondisi *existing* tipikal 4 di atas, maka diperlukan *resetting* koordinasi rele pengamanan. Berikut perhitungannya :

**a. Rele F50-CB1**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} MVST1 + I_{NGR} MVST2 + I_{NGR} Insulating transformer$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{set} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{set} = 60$$

$$Tap = \frac{60}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$Tap = \frac{60}{20} I_n$$

$$Tap = 3 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{set} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,1 detik

**b. Rele F50-CB21**

Manufaktur : MERLIN GERIN  
Model : SEPAM 1000  
Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR} MVST1 + I_{NGR} MVST2 + I_{NGR} Insulating transformer$   
 $= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A}$

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{set} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{set} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{\text{set}} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} I_n$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,7 detik

#### **c. Rele F50-CB13**

Manufaktur

: MERLIN GERIN

Model

: SEPAM 1000

Rasio CT

: 20/1 A

$I_{L-G}$  kontribusi

$$\begin{aligned} &: I_{\text{NGR}} \text{ MVST1} + I_{\text{NGR}} \text{ MVST2} + \\ &\quad I_{\text{NGR}} \text{Insulating transformer} \\ &= 200 + 200 + 200 = 600 \text{ A} \end{aligned}$$

### **Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

#### **Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{\text{set}} < 50\%$   $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{\text{set}}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$$I_{\text{set}} = 0,1 \cdot 600$$

$$I_{\text{set}} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{Primer CT}} I_n$$

$$\text{Tap} = \frac{60}{20} I_n$$

$$\text{Tap} = 3 \cdot I_n$$

Di pilih Tap  $I_n$  (Range 0,05 – 10)

$$I_{\text{set}} = 3 \times 20 = 60 \text{ A}$$

### **Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,7 detik

#### **d. Rele F50-CB-Gen2**

Manufaktur

: MERLIN GERIN



Model : SEPAM 20  
 Rasio CT : 20/1 A  
 $I_{L-G}$  kontribusi :  $I_{NGR}$  MVS T2 = 200 A

**Time Overcurrent Pickup (DISABLE)**

**Instantaneous Pickup**

5-10%  $I_{L-G}$  kontribusi <  $I_{set}$  < 50%  $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set}$  di pilih 10%  $I_{L-G}$  kontribusi

$I_{set} = 0,1 \cdot 200$

$I_{set} = 20$

$Tap = \frac{20}{\text{Primer CT}} I_n$

$Tap = \frac{20}{20} I_n$

$Tap = 1 \cdot I_n$

Di pilih Tap  $I_n$  (Range 0,05 – 10)

$I_{set} = 1 \times 20 = 20 \text{ A}$

**Time Delay**

Di pilih *Time Delay* 0,9 detik

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai *resetting* rele seperti pada tabel 4.60 berikut ini.

**Tabel 4.60** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB1	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,1
F50-CB21	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,7

**Tabel 4.60** Data *Resetting* Rele Fasa ke Tanah Tipikal 4 (lanjutan)

<i>ID rele</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
F50-CB13	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	3 (60 A)
		<i>Time Delay</i>	0,7
F50-CB-Gen2	20/1	<i>Pickup Lowset</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Time Dial</i>	<i>DISABLE</i>
		<i>Pickup Highset</i>	1 (20 A)
		<i>Time Delay</i>	0,9

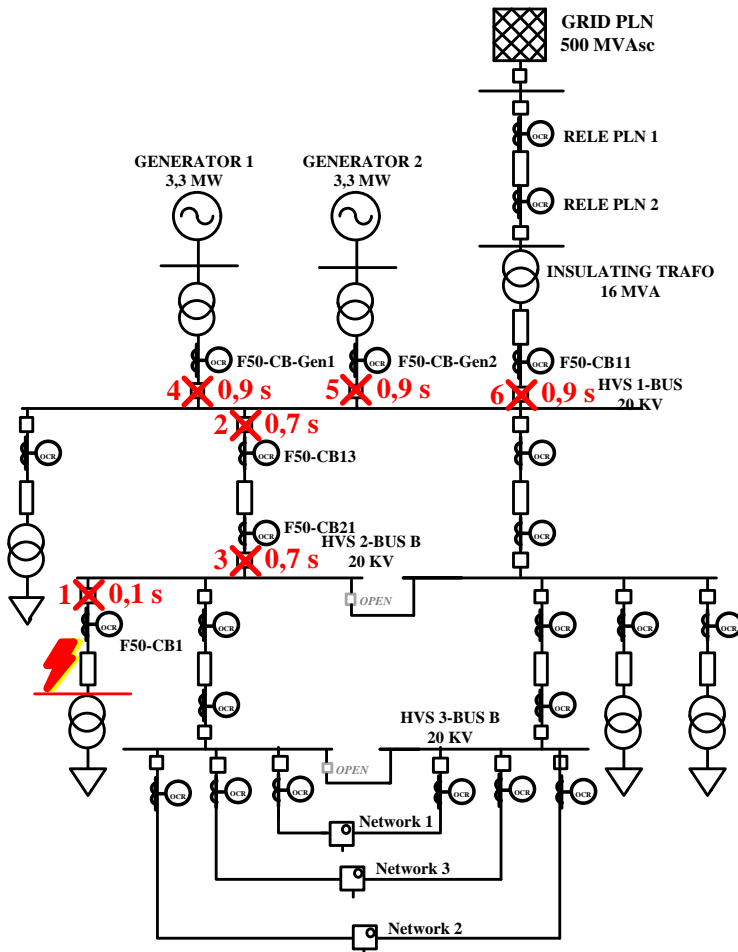
Nilai hasil *resetting* tersebut kemudian dimasukkan ke rele yang ada dan dilakukan simulasi koordinasi proteksi dengan hasil seperti pada tabel 4.61 berikut.

**Tabel 4.61** *Sequence of Operation Resetting* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 4

No	Waktu Tunda (ms)	ID	If (kA)	Kondisi
1	100	F50-CB37	0,573	<i>Ground - OC1 - 50</i>
2	700	F50-CB13	0,573	<i>Ground - OC1 - 50</i>
3	700	F50-CB21	0,573	<i>Ground - OC1 - 50</i>
4	900	F50-CB-GEN1	0,191	<i>Ground - OC1 - 50</i>
5	900	F50-CB-GEN1	0,191	<i>Ground - OC1 - 50</i>
6	900	F50-CB11	0,192	<i>Ground - OC1 - 50</i>

Pada tabel 4.61 terlihat bahwa selisih waktu tunda pada rele sudah memenuhi standar karena ada pada *range* 0,2 detik sampai 0,4 detik. Sedangkan urutan kerja rele pada gambar 4.73 dapat dikatakan sudah benar. Urutan nomor 2 dan 3 terbalik dari sumber ke titik

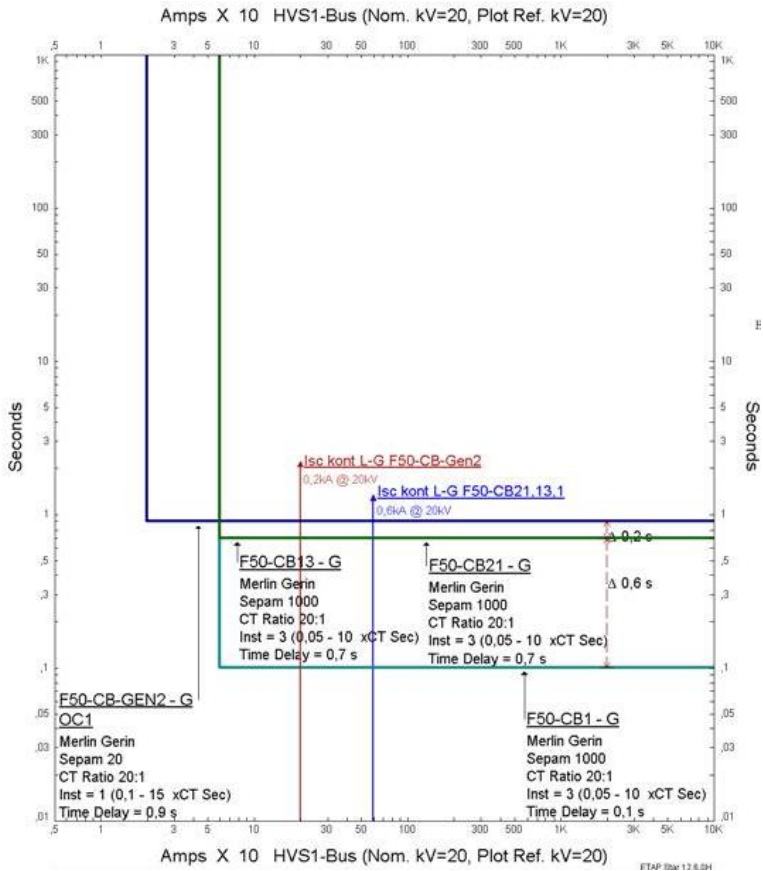
gangguan, hal ini tidak dipermasalahkan karena waktu *trip* kedua rele sama dan urutan *trip* pada simulasi di mulai berdasarkan abjad.



**Gambar 4.73** *Sequence of operation Resetting* Hubung Singkat Fasa ke Tanah Tipikal 4

Pada gambar 4.74 berikut merupakan kurva TCC tipikal 4. Pada gambar terlihat selisih waktu tunda antar rele sudah benar . *Pickup*

rele F50-CB1, F50-CB13 dan F50-CB21 sama karena ketiga rele mendapatkan nilai arus kontribusi hubung singkat dari penjumlahan NGR pada trafo MVST1, MVST2 dan *Insulating transformer*.



**Gambar 4.74** Kurva TCC Resetting Relé Fasa ke Tanah Tipikal 4

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil studi penggunaan *insulating transformer* pada sistem kelistikan PT. Terminal Teluk Lamong dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada *setting* rele keadaan *existing*, semua selisih waktu tunda rele dibawah minimal waktu tunda yang diperbolehkan (0,2 detik sampai 0,4 detik) sehingga semua rele akan aktif secara bersamaan ketika terjadi hubung singkat, baik hubung singkat fasa ataupun fasa ke tanah.
2. Karena besar arus hubung singkat yang dirasakan oleh rele PLN sebesar 8,856 kA pada kondisi *existing* akan membuat rele tersebut *trip* pada waktu 0,355 detik. Agar urutan *trip* benar, rele – rele yang ada di bawah *outgoing* PLN harus bernilai kurang dari waktu tunda yang ada pada rele PLN dan menyebabkan jarak waktu tunda antar rele terlalu kecil (kurang dari 0,2 detik) sehingga menyebabkan terjadinya *trip* rele secara bersamaan. Hal ini dilakukan karena waktu tunda pada rele PLN tidak dapat di ubah oleh pihak PT. Terminal Teluk Lamong dan *setting* rele fasa PLN hanya menggunakan kurva *invers*.
3. Ketika ada gangguan hubung singkat fasa ke tanah, *ground fault relay* yang aktif paling awal merupakan rele milik PT. PLN (Relay GI PLN) pada waktu 0,114 detik sehingga sistem kelistrikan PT. Terminal Teluk Lamong akan padam semua karena langsung terputusnya *suplay* daya dari PT.PLN (Persero) hal ini disebabkan oleh *setting* rele fasa ke tanah yang masih kurang benar.
4. Penambahan *insulating transformer* menyebabkan bertambahnya impedansi pada sistem sehingga menyebabkan penurunan arus hubung singkat yang menyebabkan waktu tunda pada rele menjadi lebih lama. Hal ini disebabkan *setting* rele PLN hanya menggunakan kurva *invers* sehingga ketika arus hubung singkat semakin kecil, waktu tunda akan semakin lama. Waktu tunda yang

semakin lama ini menyebabkan selisih *time delay* antar rele dapat di atur dalam range waktu yang benar (0,2 detik sampai 0,4 detik) sehingga tidak terjadi *trip* serempak pada sistem. Pemilihan besar impedansi *insulating transformer* dilakukan dengan cara melakukan simulasi dengan mencoba memberikan nilai impedansi *insulating trafo* sehingga mendapatkan hasil *time delay* sekitar 1 detik karena pada umumnya rele PLN akan *trip* sekitar waktu 1 detik. Dari pengujian didapatkan nilai impedansi sebesar 10% yang akan membuat rele PLN *trip* pada waktu 1,046 detik dengan arus kontribusi yang dirasakan rele sebesar 3,19 kA.

5. Penggunaan *insulating transformer* juga bisa mengatasi permasalahan kegagalan koordinasi fasa ke tanah. Pemasangan *insulating transformer* diletakkan diantara bagian bawah rele PLN dengan bagian atas *incoming* PT. Terminal Teluk Lamong. Dengan hubungan *delta-wye* pada trafo membuat arus hubung singkat akan terisolir pada belitan *delta* sehingga jika terjadi gangguan pada bagian sekunder trafo tidak akan menimbulkan masalah pada bagian primer begitu pula sebaliknya, selain itu karena trafo dapat mereset waktu tunda rele pada bagian primernya maka bagian sekunder dapat kita beri nilai waktu tunda yang besar sehingga selisih waktu tunda antar rele bisa benar (0,2 detik sampai 0,4 detik)

## 5.2 Saran

Diharapkan ditemukan metode lain untuk menangani kasus serupa seperti diatas selain menggunakan *insulating transformer* pada sistem dan pengembangan studi menggunakan *software* lain agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

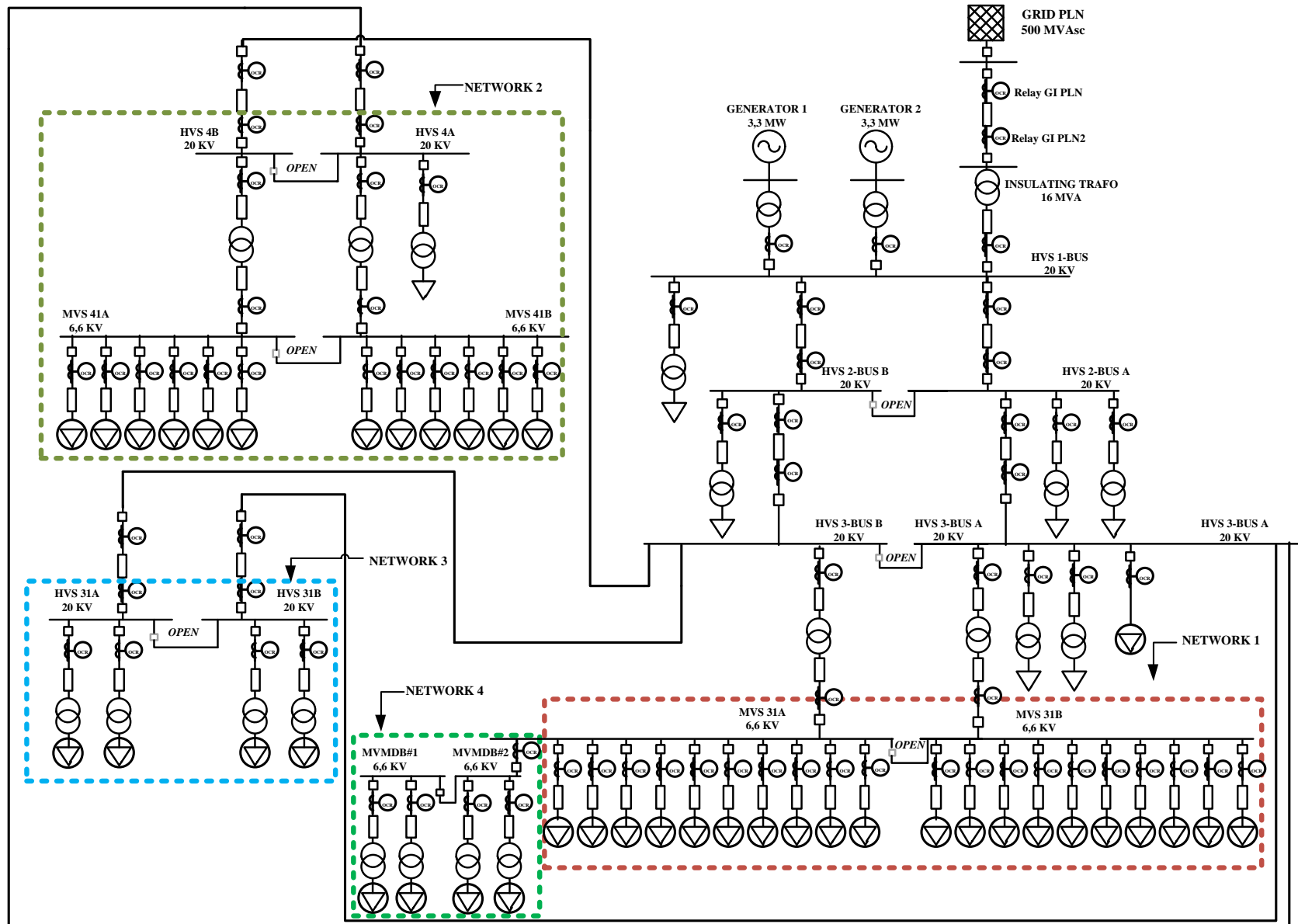
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulasno, “*Analisa Sistem Tenaga Listrik*”, Satya Wacana, Semarang, 1993
- [2] IEEE Std 551TM – 2006, “*IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 2, 2006.
- [3] Adrial Mardensyah, “*Studi Perencanaan Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Gardu Induk Gambir Lama- Pulomas*”. Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 2008
- [4] R Wahyudi, Ir, *Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*, 2008
- [5] Ontoseno Penangsang. Prof, *Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga 2*, 2008
- [6] Stevenson, Jr., William D, “*Analisis Sistem Tenaga Listrik*”, Diterjemahkan oleh Ir. Kamal Idris, Penerbit Erlangga, Jakarta, Edisi Keempat, 1983.
- [7] J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin, H. Lee Willis, Muhammad H. Rashid, “*Protective Relaying-Principles and Applications*”, 3rd edition.2007, Diterjemahkan oleh: Kunto. W .2012
- [8] IEEE std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Cordination of Industrial and Commercial Power System*”, The Institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001.
- [9] Davies,T, “*Protection of Industrial Power System 2<sup>nd</sup> Edition*”, Elsevier Ltd., USA, Ch.5,2006
- [10] Ketki P.Gogate, Arvind P. Hatkar, S.V.I.T.Chincholi, Nashik, “*Ultra Isolation Transformer Testing Unit*”,2015

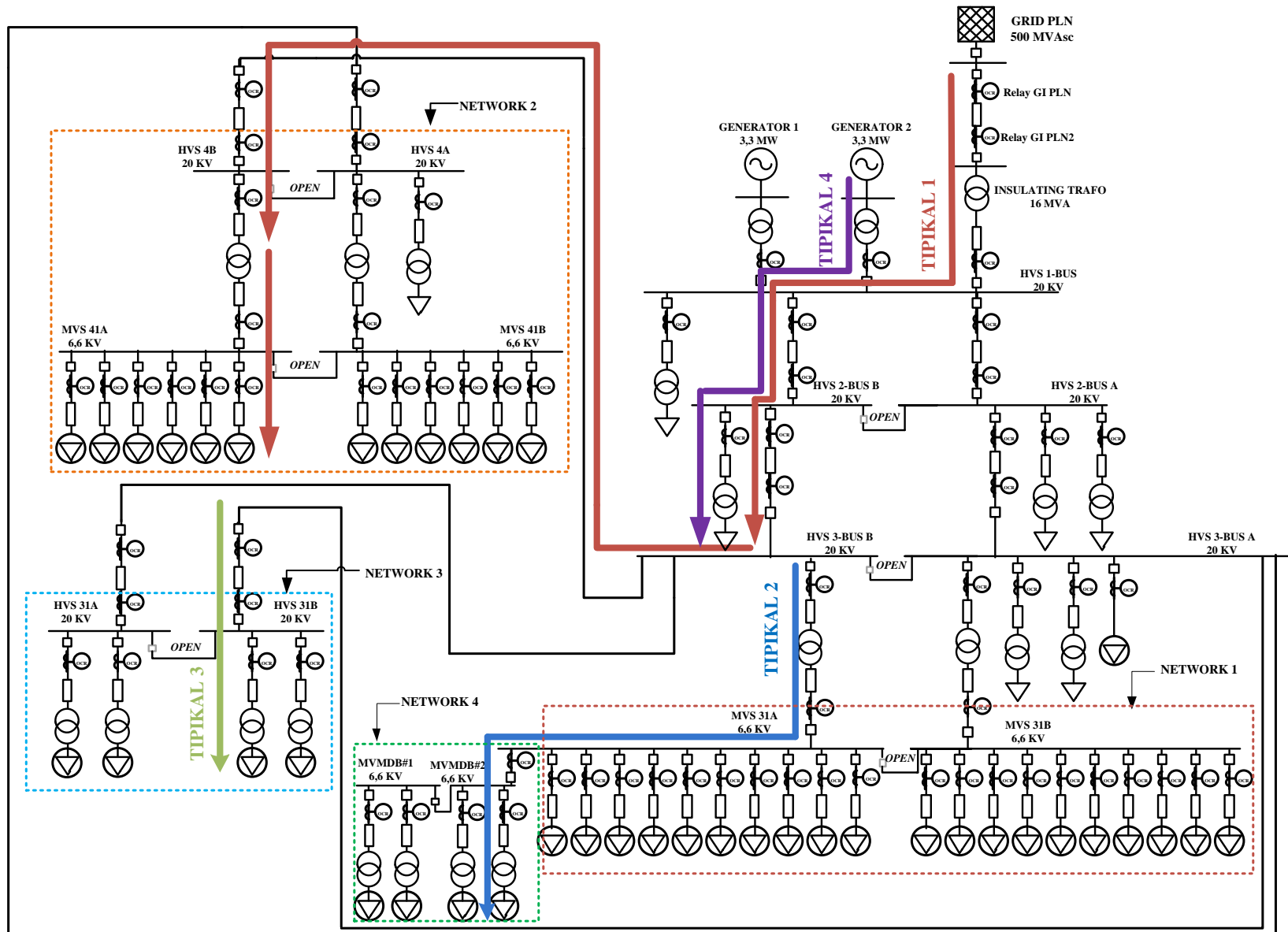


*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# Single Line Diagram PT. Terminal Teluk Lamong



## Pemilihan Tipikal Fasa dan *Ground* pada Sistem Kelistrikan di PT. Terminal Teluk Lamong



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Aprillia Intan Kusumawati, dilahirkan di Madiun 27 April 1994. Penulis menempuh pendidikan di TK Al Arifiyah pada tahun 1999, kemudian masuk SDN Krajan 02 pada tahun 2000. Tahun 2006 penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Mejayan kemudian pada tahun 2006 masuk ke SMAN 1 Mejayan dan melanjutkan kuliah pada jenjang Diploma III di Diploma III Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada angkatan 2012. Setelah lulus pada tahun 2015, penulis melanjutkan kuliah pada jenjang sarjana di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada bidang studi teknik sistem tenaga. Untuk menghubungi penulis dapat melalui email di [aprillia.intankusumawati@gmail.com](mailto:aprillia.intankusumawati@gmail.com).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*